



# **Diseño e implementación de un sistema de oxigenación para cultivo de tilapia alimentado con energía fotovoltaica.**

**Andrés Felipe Charry Tovar  
Daniel Pérez Osorio**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Neiva, Colombia  
2020



# **Diseño e implementación de un sistema de oxigenación para cultivo de tilapia alimentado con energía fotovoltaica.**

**Andrés Felipe Charry Tovar  
Daniel Pérez Osorio**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electrónico**

Director (a):

Andrea Milena Marín Zambrano

Línea de Investigación:

Energía

Grupo de Investigación:

REM

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2020



*(Dedicatoria o lema)*

A mi señora madre Osiris Tovar y  
hermana María José Charry Tovar  
por ser la motivación para llegar a  
tener los mejores logros en mi vida.

**Andrés Felipe Charry Tovar.**

A mi padre Gustavo Pérez Urquijo y señora  
madre Gloria Osorio Alarcón, y familia, por su  
cariño y apoyo incondicional.

**Daniel Pérez Osorio**



## **Agradecimientos**

A Dios por la vida, a mis padres Osiris Tovar y Camilo Alejandro Charry por el ejemplo, esfuerzo, sacrificio y apoyo que siempre me han brindado y me han permitido alcanzar cada uno de mis logros.

A mis abuelos Ursulina Herrán y Luis Eduardo Charry por su entrega, dedicación y apoyo incondicional.

A la Ingeniera Andrea Marín por su entrega, disposición y apoyo incondicional durante el transcurso de mi carrera.

### **Andrés Felipe Charry Tovar**

Agradezco a la universidad Antonio Nariño, que cimentó el espacio para mi desarrollo profesional; y a todos aquellos docentes que destinaron tiempo para enseñarme nuevas cosas, haciendo aportes invaluable que servirán para toda mi vida.

### **Daniel Pérez Osorio**



## Resumen

Este libro presenta el diseño e implementación de un sistema de oxigenación alimentado con energía fotovoltaica, utilizado en cuatro lagos de geomembrana para cultivo de tilapia, ubicados en la vía Campoalegre – Hobo, kilómetro 8 en el departamento del Huila. De acuerdo a los requerimientos se cambió el actuador del sistema, un blower de 1600W, por uno de menor consumo, además de mantenerse como mínimo el oxígeno disuelto durante el periodo comprendido entre las 6:00 p.m. y las 6:00 a.m. en  $4\text{mgO}_2/\text{l}$ , por tanto, se procedió a realizar una caracterización general del sistema actual, se determinó el nuevo actuador, se diseñó el sistema fotovoltaico de acuerdo a condiciones ideales y siguiendo la metodología convencional, se simuló este sistema, utilizando el software de Matlab a través de la herramienta Simulink encontrándose que de acuerdo a las condiciones meteorológicas de la región de incidencia, radiación y temperatura y los factores de desgaste de los elementos, el diseño establecido no permitía la plena carga de las baterías alcanzado solo un 66.6%, por lo que el tiempo de autonomía no era suficiente para mantener el actuador en funcionamiento en el periodo señalado, por lo que se rediseño el sistema y nuevamente se simuló alcanzándose una recarga de las baterías del 99,9%, se instaló un sistema fotovoltaico autónomo, se disminuyó el consumo energético del sistema al trabajar con compresor *Resun MPQ - 906* de 120W DC y se garantizó  $5.24\text{mgO}_2/\text{l}$  en promedio, que representa un 14% más de oxígeno que el sistema anterior.

**Palabras clave:** Sistemas Fotovoltaicos, Sistema de oxigenación, Rediseño de sistema fotovoltaicos, Simulación sistema fotovoltaico.

## Abstract

This book presents the design and implementation process of an oxygenation system powered by photovoltaic energy used in four geomembrane lakes for tilapia cultivation, located in Campoalegre - Hobo Road, kilometer 8, Huila department. In accordance with the requirements, the current actuator (A 1600W Blower) for the system must be changed out for one with lower energy consumption; as well as maintaining the level of dissolved oxygen at a minimum of  $4\text{mgO}_2/\text{l}$  during the period between 6:00 p.m. to 6:00 a.m.. Therefore, a general characterization of the current system was carried out. The new actuator was chosen and the photovoltaic system was designed following conventional guidelines and methodology. This system was simulated using Matlab's software through the Simulink tool and it was found that according to the weather conditions of the region along with radiation and temperature that the established design did not allow the batteries to be fully charged reaching only 66.6% of their overall capacity. This meant that the autonomy time was not enough to keep the actuator operating during the indicated period. Due to this problem the system was redesigned and simulated again, reaching a 99.9% recharge of the batteries. An autonomous photovoltaic system was installed, the energy consumption of the system was reduced when utilizing with the *Resun MPQ - 906 120W DC* compressor and  $5.24\text{mgO}_2/\text{l}$  was guaranteed on average, which represents 14% more oxygen than the previous system.

**Keywords:** Photovoltaic systems, Oxygenation system, Photovoltaic system redesign, Photovoltaic system simulation.

# Contenido

	Pág.
Contenido	
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>X</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>19</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>22</b>
<b>Objetivo general</b> .....	<b>22</b>
<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>22</b>
<b>Capítulo 1: Marco Referencial</b> .....	<b>25</b>
<b>1.1 Estado del arte</b> .....	<b>25</b>
<b>1.2 Marco Conceptual</b> .....	<b>27</b>
1.2.1 Sistemas fotovoltaicos .....	27
Panel Solar.....	28
Ángulo de inclinación .....	29
Inversor .....	31
Dimensionado del inversor .....	31
Baterías .....	32
Dimensionado del sistema de acumulación.....	33
1.2.2 Estimación del consumo .....	35
1.2.3 Simulación .....	35
Bloque PV ARRAY .....	36
Elevador tipo Boost .....	36
Signal Builder.....	37
Algoritmo de la técnica P&O .....	39
<b>1.3 Marco Teórico</b> .....	<b>40</b>
1.3.1 Condiciones y parámetros del cultivo de tilapia .....	40
1.3.2 Oxígeno disuelto .....	41
1.3.3 Proceso productivo .....	41
<b>1.4 Marco Legal</b> .....	<b>43</b>
1.4.1 Decreto número 2331 de 2007 .....	44



## Lista de figuras

Pág.

<b>Figura 0- 1:</b> Mayores productores de tilapia en Colombia .....	19
<b>Figura 0- 2:</b> Comportamiento de la variable oxígeno.....	21
<b>Figura 1- 1:</b> Sistema Fotovoltaico .....	28
<b>Figura 1- 2:</b> Azimut i altura solar .....	29
<b>Figura 1- 3:</b> Bloque controlador de carga elevador BOOST .....	37
<b>Figura 1- 4:</b> Radiación de prototipo por tiempo de 24 horas en 6 meses.....	38
<b>Figura 1- 5:</b> Temperatura de prototipo por tiempo de 24 horas en 6 meses .....	38
<b>Figura 1- 6:</b> Algoritmo P&O.....	39
<b>Figura 1- 7:</b> Proceso de cultivo de tilapia .....	43
<b>Figura 2- 1:</b> Datos de temperatura en un periodo de 6 meses .....	47
<b>Figura 2- 2:</b> Datos de radiación en un periodo de 6 meses .....	48
<b>Figura 2- 3:</b> Diagrama eléctrico.....	55
<b>Figura 2- 4:</b> Diagrama de conexiones de bloques de sistema fotovoltaico .....	57
<b>Figura 2- 5:</b> Voltaje y corriente del sistema .....	58
<b>Figura 2- 6:</b> Eficiencia de arreglo de 9 paneles en paralelo.....	59
<b>Figura 2- 7:</b> Durabilidad de baterías según la corriente del sistema .....	60
<b>Figura 2- 8:</b> SOC (Carga y descarga de baterías).....	61
<b>Figura 2- 9:</b> Corriente suministrada por el banco de baterías.....	62
<b>Figura 2- 10:</b> Voltaje suministrado por el banco de baterías.....	62
<b>Figura 2- 11:</b> Consumo de los elementos del sistema en AC.....	63
<b>Figura 2- 12:</b> Consumo del sistema fotovoltaico .....	64
<b>Figura 2- 13:</b> Diagrama eléctrico del sistema rediseñado.....	66
<b>Figura 2- 14:</b> Diagrama de conexiones de bloques del sistema fotovoltaico rediseñado	70
<b>Figura 2- 15:</b> Radiación y temperatura de 6 meses durante 24 horas diarias.....	71
<b>Figura 2- 16:</b> Voltaje y corriente del sistema rediseñado.....	71
<b>Figura 2- 17:</b> Eficiencia en conjunto de 10 paneles en paralelo .....	72
<b>Figura 2- 18:</b> Durabilidad del banco de baterías sistema rediseñado .....	73
<b>Figura 2- 19:</b> SOC (Carga y descarga) sistema rediseñado.....	74
<b>Figura 2- 20:</b> Corriente suministrada por el banco de baterías sistema rediseñado .....	74
<b>Figura 2- 21:</b> Voltaje suministrado por el banco de baterías sistema rediseñado .....	75



# Lista de tablas

Pág.

<b>Tabla 2- 1:</b> Consumo energético .....	49
<b>Tabla 2- 2:</b> Consumo diario durante la toma de muestra del sistema en funcionamiento .	82
<b>Tabla 2- 3:</b> Comportamiento de la radiación durante la toma de muestra del sistema en funcionamiento .....	83
<b>Tabla 2- 4:</b> Comportamiento de la temperatura durante la toma de muestra del sistema en funcionamiento .....	84

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Abreviaturas

A	Amperio	
AC	Corriente alterna	
Ah	Amperio hora	
°C	Grado Celsius	
DC	Corriente directa	
HPS	Hora Solar Pico	
I	Corriente	
IoT	Internet of Things – Internet de las cosas	
Kg	kilogramo	
Km	Kilometro	
KW	kilovatio	
l	Litro	
m	Metro	
mg	Miligramo	
O	Oxígeno	
pH	Medida de acidez o alcalinidad de una solución	
P-N	Union de electrones libres en un diodo	
PV	Photovoltaic System - Sistema Fotovoltaico	
rms	Root Mean Square – Valor Eficaz	
SOC	State of charge - Estado de Carga	
STC	Standart Test Conditions - Condiciones de prueba	
t	Tiempo	
V	Voltio	
W	Vatio / Watt	
Wh	Vatio / Watt - hora	
$CE_n$	Cantidad de elementos	<b>ecuación 2.1</b>
$C_n$	Capacidad de la batería	<b>ecuación 1.12</b>
$C_0^*$	Capacidad de carga cero de la batería a cero grados centígrados	<b>ecuación 1.14</b>
$E_{Ac}$	Energía consumida corriente alterna	<b>ecuación 1.15 / ecuación 1.17</b>
$E_{DC}$	Energía consumida corriente directa	<b>ecuación 1.14 / ecuación 1.17</b>
$E_T$	Energía requerida	<b>ecuación 1.6 / ecuación 1.12 / ecuación 1.17</b>
$G_{m\beta}$	Radiación global sobre una superficie inclinada con ángulo	<b>ecuación 1.6</b>
$hd_n$	Tiempo de trabajo	<b>ecuación 2.1</b>
$I^*$	Corriente nominal de la batería	<b>ecuación 1.14</b>
$I_C$	Corriente consumida por la carga	<b>ecuación 1.9</b>

$I_G$	Corriente producida por el generador	<b>ecuación 1.8</b>
$I_R$	Corriente producida por rama en paralelo del generador	<b>ecuación 1.8</b>
$I_{Rmax}$	Máxima corriente de tolerancia del regulador	<b>ecuación 1.10</b>
$K_c$	Constante de carga	<b>ecuación 1.14</b>
$K_t$	Dato experimental	<b>ecuación 1.14</b>
$N$	Número de días de autonomía	<b>ecuación 1.12</b>
$n_{BAT}$	Rendimiento de la batería	<b>ecuación 1.17</b>
$n_{BTA}n_{INV}$	Rendimiento del inversor	<b>ecuación 1.17</b>
$N_R$	Número de ramas en paralelo del generador	<b>ecuación 1.8</b>
$P_{AC}$	Potencia de la carga en AC	<b>ecuación 1.9</b>
$P_d$	Máxima profundidad de descarga de la batería	<b>ecuación 1.12</b>
$P_{DC}$	Potencia de la carga en DC	<b>ecuación 1.9</b>
$P_G$	Factor global de pérdidas	<b>ecuación 1.6</b>
$P_n$	Potencia del elemento	<b>ecuación 2.1</b>
$P_p$	Potencia pico del panel	<b>ecuación 1.6</b>
$P_{Tn}$	Consumo de cada dispositivo	<b>ecuación 2.1</b>
$Q_{act}$	Capacidad real de una batería	<b>ecuación 1.13</b>
$Q_{theo}$	Capacidad máxima de carga eléctrica de un batería	<b>ecuación 1.13</b>
$t_{dl}$	Tiempo en horas de uso diario del elemento	<b>ecuación 1.14 / ecuación 1.15</b>
$V_{batería}$	Voltaje de la batería	<b>ecuación 1.12</b>

## Símbolos con letras griegas

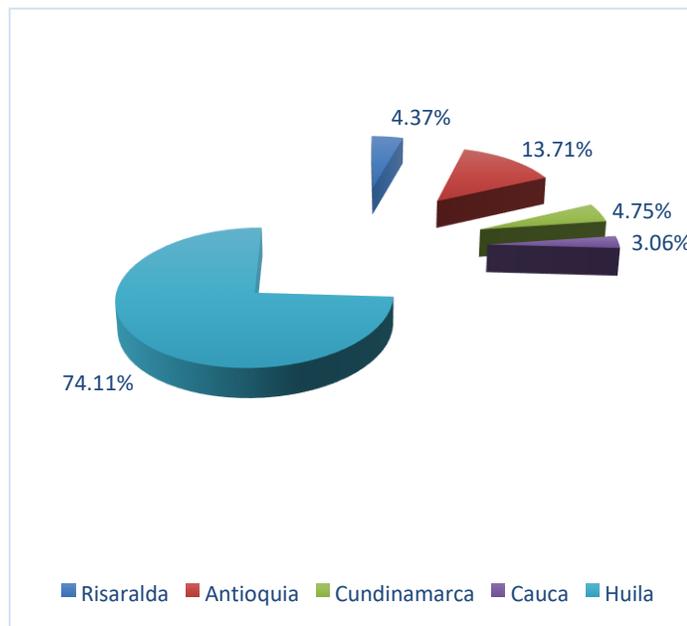
$\theta$	Ángulo de inclinación panel solar	
$\delta$	Constante de las baterías para soporte de cargas	<b>ecuación 1.14</b>



# Introducción

El departamento del Huila, tiene una producción de tilapia de 120.230 toneladas por año (Neira Marciales, 2018), que corresponde al 74.11% de la producción nacional. Como se presenta en la **Figura 0-1**.

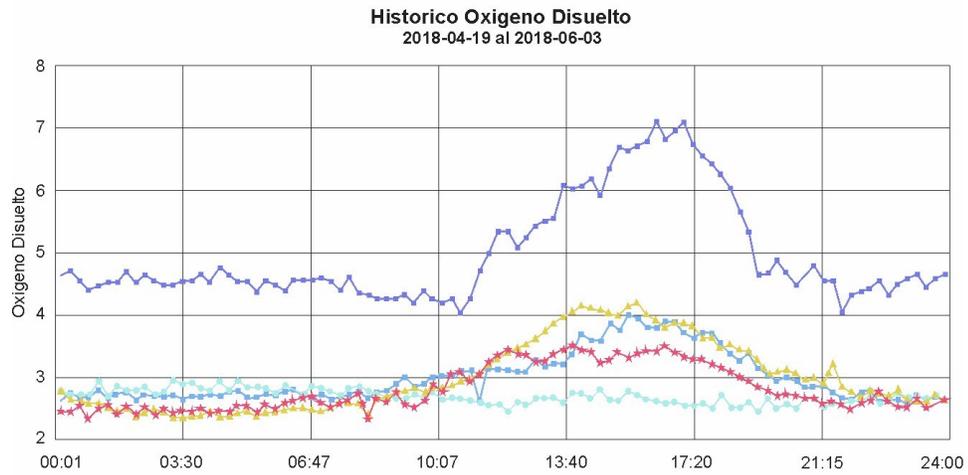
**Figura 0- 1:** Mayores productores de tilapia en Colombia



Fuente: (Neira Marciales, 2018)

En el Huila se encuentra ubicado el municipio de Campoalegre el cual está rodeado por el río Magdalena y la represa de Betania; sus condiciones climáticas y ubicación geográfica a 30Km de la capital del departamento facilitan y propician una alta producción en el área de la piscicultura (Alfonso & Sevilla, 2010) sin embargo sus recursos hídricos presentan vulnerabilidad alta, el 11% del área sufre del desabastecimiento hídrico con índice medio(Huila, 2019). A ello se suma que el oxígeno disuelto no es suficiente para satisfacer



**Figura 0- 2:** Comportamiento de la variable oxígeno

Fuente: Extraído de (Luis Carlos Trujillo Narváez, Cristian Eduardo Chala Céspedes, Gustavo Adolfo Perdomo Gómez, 2018)

Las siguientes secciones del documento están organizadas de la siguiente manera: En el Capítulo I se presenta el Marco Referencial donde se plantean los conceptos y la teoría asociada con el sistema fotovoltaico, adicionalmente normas de la organización y aplicación de energía renovables. En el Capítulo II se detalla la metodología seguida durante el desarrollo del trabajo, el prototipo de simulación implementados y los resultados obtenidos. Finalmente, en el Capítulo III se presentan las conclusiones y recomendaciones.

## Objetivos

### Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de oxigenación para un cultivo de tilapia, energizado a través de un sistema fotovoltaico.

### Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema de oxigenación actual presente en la unidad piscícola.
- Determinar las condiciones meteorológicas de radiación y temperatura durante un periodo de seis (6) meses en la unidad piscícola.
- Diseñar un sistema fotovoltaico autónomo que energice el actuador del sistema con una autonomía mínima de 12 horas.
- Determinar la operatividad y funcionalidad del sistema fotovoltaico a través de la simulación.
- Comprobar que el funcionamiento del sistema fotovoltaico implementado cumple con los requerimientos especificados.





# Capítulo 1: Marco Referencial

## 1.1 Estado del arte

El objetivo de los sistemas fotovoltaicos autónomos es garantizar la disponibilidad de electricidad en un rango de tiempo de trabajo. (Akiko et al., 1982)

Para realizar el proceso de dimensionamiento de un sistema fotovoltaico existen una variedad de métodos registrados en la literatura; en (Antonanzas et al., 2020) se establece el método de dimensionado a partir de los elementos acumuladores y generadores requerido por el sistema para proporcionar la demanda de energética; en (Alonso Abella, 2011) el autor describe un método basándose en la estimación de consumos de corriente requeridos diariamente y finalmente en (Gallego Landera, 2018) el dimensionado del sistema fotovoltaico se logra gracias a la disponibilidad de la radiación existente en el lugar de implementación; siendo estos responsables de establecer un cálculo para hallar la cantidad de paneles solares, controlador, baterías e inversor necesarios para el consumo determinado de un sistema.

Un novedoso sistema fotovoltaico agrícola basado en la separación del espectro solar se presenta en (Liu et al., 2018) El sistema propone una técnica de agricultura fotovoltaica (APV), tecnología favorable que combina simultáneamente la generación eficiente de energía eléctrica y plantación agrícola, a partir de paneles de vidrio semitransparentes en invernaderos, que solo permiten la luz necesaria que se requiere para el crecimiento de las plantas. Los resultados obtenidos muestran una eficiencia del 8%, generando unas plantas más altas y voluminosas en comparación con plantas expuestas directamente a la luz solar (Liu et al., 2018)

La solución a la problemática que abarca los sistemas de riego tradicionales que implican un alto consumo de energía convencional por parte de los motores y generadores eléctricos alimentados por combustible, reflejados en (V & S, 2015) con un sistema de bombeo automatizado de riego, alimentado por paneles fotovoltaicos que ofrecen una solución óptima sostenible para el consumo de agua en los campos agrícolas. El rendimiento del



fotovoltaico conectado a la red con el sistema de cómputo *Matlab/simulink*. Se analizaron los sistemas de generación, el circuito de energía, el control y modelo de simulación para obtener un comportamiento preciso en el sistema. Se desarrollaron dos modelos simplificados para el inversor trifásico; modelo equivalente al tipo de función de conmutación y *VSC* basado en un modelo promedio. Los resultados obtenidos de los modelos se simularon y compararon dependiendo del resultado de las variables de la velocidad, precisión y sensibilidad. El modelo de conmutación arrojó mayor velocidad de simulación y proporciona una respuesta dinámica del sistema.

## 1.2 Marco Conceptual

### 1.2.1 Sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es una fuente de energía que transforma la luz solar en energía eléctrica, basado en el efecto fotoeléctrico del material semiconductor denominado célula fotovoltaica, este contiene una estructura de unión  $P - N$  similar a un diodo, cuando la célula fotovoltaica es expuesta a una fuente de fotones, son atraídos por el material semiconductor, al exponerse con esta fuente libera un electrón que se encuentra al interior de la celda (Germán & Castejón, 2010), es decir, que describe un modelo de circuito específico.

La estructura del sistema fotovoltaico se compone principalmente de paneles solares, controlador de carga, baterías e inversor, (**Figura 1-1.**) lo que permite la transformación, regulación, almacenamiento e inversión de energía producida, para suplir la necesidad requerida (García Villas & Arribas, 1999) a continuación, se realizará la explicación de cada uno de los elementos que componen un sistema fotovoltaico.



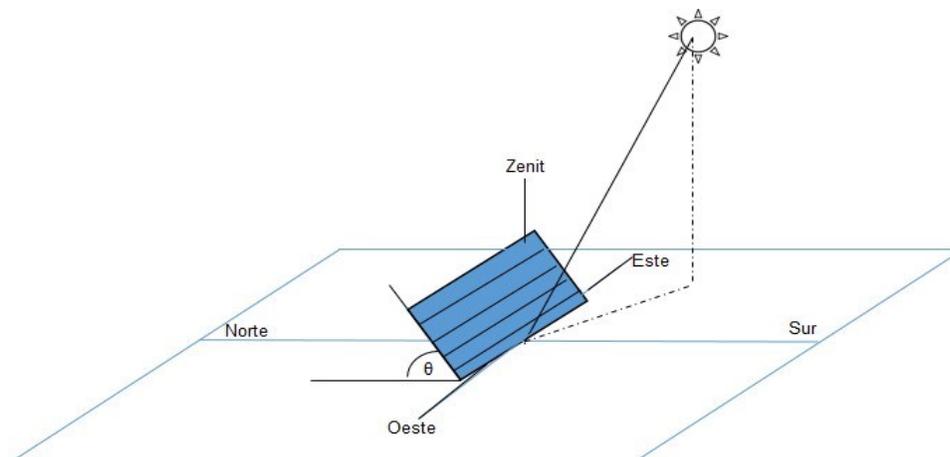
debe al bajo costo de producción, sin embargo, presenta un rendimiento del 12% de eficiencia. (El Chaar, Lamont, & El Zein, 2011)

- **Amorfo:** Es un panel formado por pequeñas capas de silicio que se vierten sobre un soporte. La eficiencia de este tipo de panel es del 5-6%. No obstante, tiene la ventaja de presentar una capa muy delgada denominadas capas finas que pueden adaptarse a distintos tipos de superficie. (Baselga Carreras, 2019)

## Ángulo de inclinación

Un parámetro importante en la utilización de paneles solares es el ángulo de inclinación  $\theta$  como se emplea en la **Figura 1- 2**. La correcta inclinación permite obtener una mayor eficiencia en el sistema por el alto índice de radiación solar que incide en el panel. (Sarkar Jawhar, 2017)

**Figura 1- 2:** Azimut i altura solar



Fuente: Adaptada de (Sánchez Rodríguez, 2014)

## Dimensionado del generador fotovoltaico:

La cantidad de generadores se relaciona con la demanda energética. La cantidad de paneles solares necesarios se calcula mediante la **Ecuación 1.6**. (Alonso Lorenzo, 2006)

$$N_T = \frac{E_T}{(P_p * G_{m\beta} * P_G)} \quad (1.6)$$

En la **Ecuación 1.6**,  $E_T$  es la energía requerida, es decir, la carga total por número de elementos según su tiempo de uso,  $P_p$  se denota como la potencia pico del panel,  $G_{m\beta}$  la radiación global sobre una superficie inclinada con ángulo  $\beta$  y  $P_G$  el factor global de pérdidas. (Alonso Lorenzo, 2006)

## Control de carga:

Controlador o regulador de carga, es un dispositivo que garantiza las condiciones óptimas del funcionamiento de la batería, protege su funcionamiento evitando la descarga y sobrecarga de la misma, es decir, que controla la corriente entregada por el panel solar. (Posedly, 2008)

El controlador incluye otras características de utilidad en tareas de medición y registro de datos, control y seguridad como contadores de amperios-hora, alarmas, temporizadores, entre otros (Alfonso & Sevilla, 2010) ,para el dimensionado de un regular de carga se debe tener en cuenta los siguientes cálculos.

## Dimensionado del regulador:

Mantiene constante la tensión suministrada por el generador y regula la intensidad de corriente máxima que circula por el sistema, se calcula con la corriente que el regulador debe ser capaz de soportar cuando se encuentra en funcionamiento. Este cálculo se representa por medio de la **Ecuación 1.8**.

$$I_G = I_R * N_R \quad (1.8)$$

Donde  $I_G$  es la corriente producida por el generador,  $I_R$  representa la corriente producida por cada rama en paralelo del generador y  $N_R$  número de ramas en paralelo del generador. Los consumos según la intensidad de la carga se presentan en un mismo instante de tiempo como se muestra en la siguiente ecuación (Alonso Abella, 2011)

$$I_C = \frac{P_{DC}}{V_{batería}} + \frac{P_{AC}}{110} \quad (1.9)$$

En la **Ecuación 1.9**,  $I_C$  es la corriente que consume la carga,  $P_{DC}$  corresponde al valor de la potencia de la carga en *DC*,  $P_{AC}$  potencia de la carga en *AC* y  $V_{bat}$  representa la tensión nominal de la batería. Teniendo en cuenta estas dos corrientes  $I_G$  y  $I_C$ , la máxima es la que deberá tolerar el regulador y se muestra en la **Ecuación 1.10**.

$$I_R = \max(I_G, I_C) \quad (1.10)$$

## Inversor

El inversor es un equipo que se encarga de transformar la corriente directa producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna.

### Dimensionado del inversor

El inversor de corriente *DC- AC* debe tener en cuenta para su funcionamiento parámetros como su tensión nominal de entrada y salida, potencia nominal, frecuencia de operación del sistema y rendimiento. En una instalación fotovoltaica la tensión de entrada al inversor no es constante, por lo que debe ser apto para tolerar un determinado rango de tensiones, este suele ser de un 15%.

(Ortiz, 2013)

Para dimensionar el inversor se analiza la demanda de carga en *AC*, para seleccionar el adecuado según su potencia nominal que debe ser mayor a la demandada por la carga, es decir, valor de referencia según el intervalo de tensiones que identifica el tipo de convertidor



Este tipo de batería se clasifica en baterías abiertas o líquidas y baterías de gel.

- **Baterías de Gel:** Son un tipo de baterías que obtienen el electrolito de ácido sulfúrico en forma de gel. El factor clave que afecta el rendimiento de las baterías de gel es el propio electrolito de gel. Adquiere ventajas en la larga vida útil y baja profundidad de descarga, al ser baterías que no requieren mantenimiento las hace adecuadas para sistemas fotovoltaicos aislados. (Tang, Wang, Mao, Shao, Chen, Xu & Zhang, 2007)

Para obtener la capacidad de la batería, se debe tener en cuenta los parámetros de máxima profundidad de descarga, que matemáticamente es el nivel máximo de descarga que presenta la batería antes de presentar una desconexión con el regulador. Los días de autonomía, representan el consumo de energía en días de ausencia de radiación solar. (Alfonso & Sevilla, 2010)

### Dimensionado del sistema de acumulación:

Para determinar el volumen del sistema acumulador se debe tener en cuenta los días de autonomía, es decir, los días en los cuales, sin presencia de radiación, el sistema acumulador es capaz de mantener el consumo requerido, sin sobrepasar su máxima descarga, la cual protege su vida útil, que en baterías de *ácido - plomo* este parámetro es de 0.6 (Ivan Cowie, 2014).

El sistema acumulador debe ser suficiente para almacenar energía que asegure los días de autonomía. La **Ecuación 1.12** muestra el cálculo de la capacidad de una batería en amperios hora ( $Ah$ ).

$$C_n(Ah) = \frac{E_T * N}{V_{bateria} * P_d} \quad (1.12)$$

El tipo de batería apropiada se escoge teniendo en cuenta la **Ecuación 1.12**, donde  $C_n$  es la capacidad de la batería,  $E_T$  la energía requerida,  $N$  número de días de autonomía,  $V_{bateria}$  corresponde al voltaje de las baterías y  $P_d$  es la máxima profundidad de descarga de la batería.

- **Estado de carga:** el estado de carga de una batería es de gran importancia a la hora de preservar y proteger el estado de las baterías, los circuitos y cada uno de los equipos que la requieren. (Haisch et al., 2020) es la expresión que indica de manera porcentual la carga de la batería, como se representa en la **Ecuación 1.13**.

$$SOC = \frac{Q_{act}}{Q_{theo}} \quad (1.13)$$

En la **Ecuación 1.13**,  $SOC$  corresponde al estado de carga,  $Q_{act}$  es la capacidad real y  $Q_{theo}$  la capacidad máxima que indica la cantidad de carga eléctrica que una batería puede almacenar o suministrar.

- **Capacidad de carga:** la capacidad de una batería es la carga máxima que puede almacenar durante la carga y devolver durante la descarga. La capacidad total de la batería se emplea en la **Ecuación 1.14**, esta depende de la corriente de descarga y la temperatura del electrolito. (Posedly, 2008)

$$C(I, \theta) = \frac{K_c C_0^* K_t}{1 + (K_c - 1) (I / I^*)^\delta} \quad (1.14)$$

En la **Ecuación 1.14**,  $K_c$  es una constante diseñada para la carga y descarga,  $C_0^*$  representa la capacidad de carga cero de la batería a una temperatura de cero grados centígrados,  $K_t$  es un valor obtenido de datos experimentales, el cual varía dependiendo de la temperatura,  $I^*$  corresponde a la corriente nominal que presenta la batería y  $\delta$  se define como una constante que expresa la capacidad para soportar la carga aplicadas.

## 1.2.2 Estimación del consumo

La demanda energética implica el cálculo de la energía que requiere el usuario dependiendo de sus necesidades. (Alonso Lorenzo,2006) La energía consumida en corriente directa y continua se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$E_{Ac} = \sum P_{(AC)_i} \cdot t_{di} \quad (1.15)$$

$$E_{DC} = \sum P_{(DC)_i} \cdot t_{di} \quad (1.16)$$

En la **Ecuación 1.15**  $E_{Ac}$  corresponde al valor de la energía consumida en corriente alterna y en la **Ecuación 1.16**  $E_{DC}$  en corriente directa, siendo  $p_i$  la potencia nominal en watts y  $t_{di}$  el tiempo diario de uso en horas del elemento. El consumo total diario se define con la **Ecuación 1.17**.

$$E_T = \frac{E_{Ac}}{n_{BAT}} + \frac{E_{DC}}{n_{BTA}n_{INV}} \quad (1.17)$$

La energía de consumo que demanda el sistema en un día, expresada en la **Ecuación 1.17**. Donde,  $n_{BAT}$  corresponde al rendimiento de la batería y  $n_{INV}$  el rendimiento del inversor.

## 1.2.3 Simulación

Existen diferentes softwares para la realización de simulación de sistemas fotovoltaicos como Modelica, PVsyst, Solar Pro, entre otras, la mayoría requiere de licencias y permisos para ser utilizados, es por esto que se optó escoger el software Matlab gracias a que la universidad cuenta con la respectiva licencia y es por esto que se utilizó en el proceso de simulación.

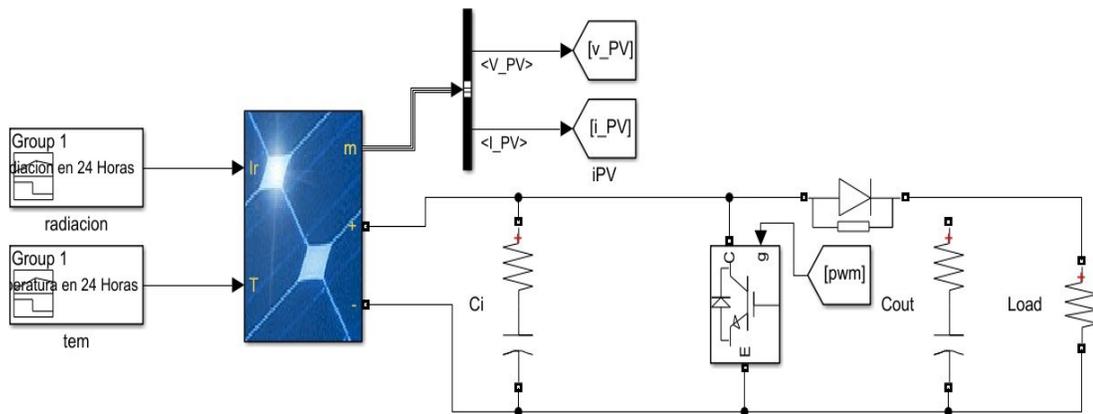
## Bloque PV ARRAY

Módulo de matriz fotovoltaica (PV) con características dependientes de los puertos de entrada, como la señal de irradiación ( $I_r$ ) aplicada a los paneles solares con escala de  $[0, 1000] \text{ W} / \text{m}^2$  y la señal de control de temperatura de las células (T) medida en grados Celsius, es decir, que su entrada es un valor determinado en finito negativo, cero o positivo para su correcto funcionamiento. (Matlab, 2015) Su puerto de salida cuenta con 3 parámetros, siendo uno de ellos las mediciones, designada con la letra m en su bloque, conteniendo cinco señales; tensión fotovoltaica, corriente fotovoltaica, corriente del diodo, irradiancia y temperatura, por otro lado, este bloque conserva dos tipos de terminales de la matriz fotovoltaica, siendo una de ellos el terminal positivo con signos + - y el terminal negativo correspondiente a los signos - -. (Matlab, 2015)

## Elevador tipo Boost

Convertidor de potencia, con fuente de alimentación conmutada que contiene interruptores semiconductores y elementos de almacenamiento energético, en donde logra el máximo punto de potencia a través de la regulación de la variable independiente, es decir, el voltaje del panel, cuando el voltaje del panel disminuye el punto máximo de potencia va a disminuir, y si el voltaje del panel aumenta el punto máximo de potencia aumenta, lo que los hace directamente proporcionales; el sistema estaría compuesto por voltajes de entrada y salida, inductor, interruptor, diodo y condensador. (Cardozo Sarmiento, 2018)

En la implementación del **convertidor elevador BOOST**, ilustrado en la **Figura 1- 3**, que tiene como objetivo principal tener como resultado de salida un valor de tensión continua mayor a la de su entrada; es así que se controló el voltaje logrando el máximo punto de potencia del arreglo de los paneles, pues esta configuración viene relacionada con los parámetros del algoritmo de la técnica de P&O. (Blange et al., 2016) Esta técnica busca mantener el voltaje y corriente de operación equilibradas, conservando el máximo potencial, demostrado en la **Figura 1- 3**.

**Figura 1- 3:** Bloque controlador de carga elevador BOOST

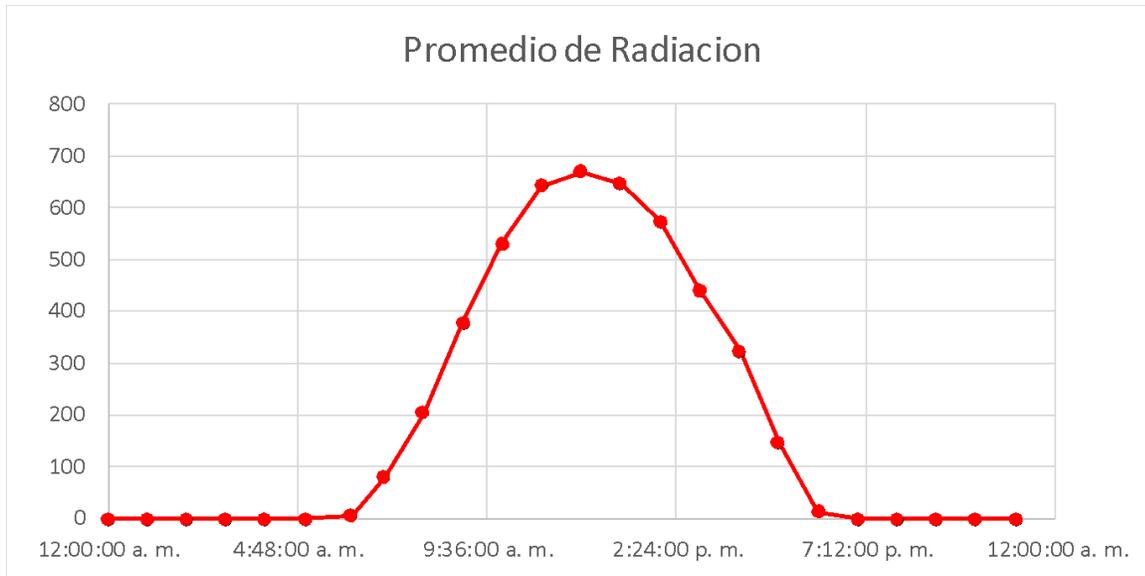
Fuente: Autores

## Signal Builder

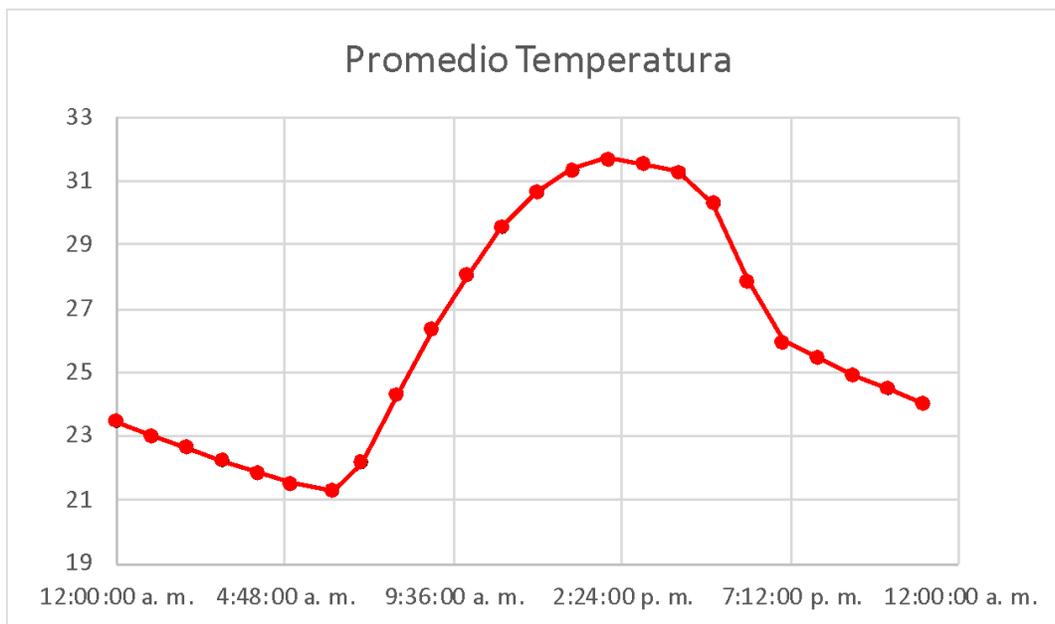
Bloque de fuentes de señales lineales, con finalidad de crear, generar y definir grupos de ondas que logran ser intercambiadas en un modelo propuesto.

Este modelo cuenta con un puerto correspondiente al de salida, siendo una de ellas la primera señal de salida, siendo una onda actualmente evidente en el generador de señales. (Matlab, 2006)

El **Signal Builder** crea e intercambia señales y/o variables de entrada, en este caso las variables de la radiación solar (**Figura 1- 4**) y temperatura (**Figura 1- 5**), en donde se discretizan sus valores obtenidos en la ubicación del prototipo por un tiempo de 24 horas durante 6 meses.

**Figura 1- 4:** Radiación de prototipo por tiempo de 24 horas en 6 meses

Fuente: Autores

**Figura 1- 5:** Temperatura de prototipo por tiempo de 24 horas en 6 meses

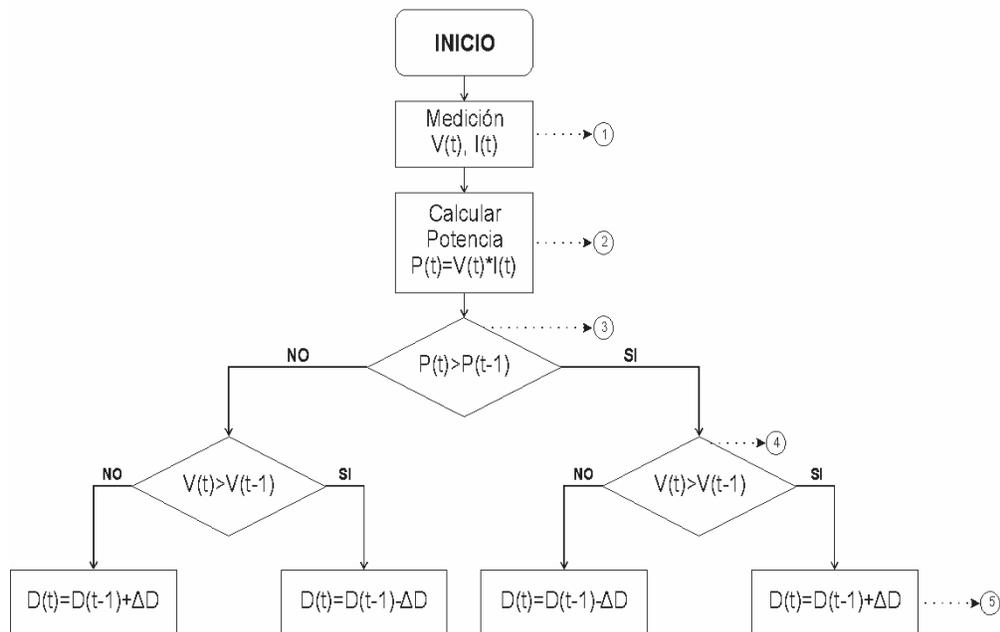
Fuente: Autores

## Algoritmo de la técnica P&O

El algoritmo de la técnica P&O propone problemas dinámicos señalando el tamaño del tiempo, obteniendo un ciclo de trabajo. (Mejía et al., 2014) Esta técnica busca mantener el voltaje y corriente de operación equilibradas, logrando conservar el punto de máximo potencial del sistema fotovoltaico, es decir, el voltaje aumenta la variable de potencia aumenta con la misma velocidad, pero en otra perspectiva, el voltaje aumentará, pero la potencia del panel disminuirá donde se buscará que el voltaje disminuya (Cardozo Sarmiento, 2018) manteniendo un sistema en condiciones armónico.

Tomando el control MPPT (seguidor de máximo punto de potencia), basado en el algoritmo P&O (Cardozo Sarmiento, 2018), se muestra un diagrama de bloques del algoritmo utilizado (**Figura 1- 6**). Sin embargo, este tipo de controlador **BOOST** tiende a tener fallas menores debido a la variación de radiación en cortos lapsos, pero aun así fue elegido dado a su simplicidad.

**Figura 1- 6:** Algoritmo P&O



Fuente: Extraído de (Halwart, & Gupta, 2006)

En la **Figura 1- 7** se explica el proceso del algoritmo P&O que inicia con la etapa de medición de voltaje  $V(t)$  y corriente  $I(t)$ , siendo  $t$  la interacción actual, posteriormente se

realiza el cálculo de la potencia realizando la operación aritmética de multiplicación entre  $V(t)$  y  $I(t)$ , a continuación se deduce las variaciones de potencia, para poder calcular las variaciones de las perturbaciones del voltaje de referencia y finalmente será añadido o sustraído las variaciones de voltaje.

## 1.3 Marco Teórico

### 1.3.1 Condiciones y parámetros del cultivo de tilapia.

Debido a su naturaleza híbrida la tilapia, se adapta con gran facilidad a ambientes lénticos (aguas poco estancadas), estanques, lagunas, reservorios y en general a medios confinados. Parámetros fisicoquímicos (Villafuerte Vega, 2014)

- **Oxígeno:** El grado de saturación del oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la altitud y directamente proporcional a la temperatura y pH. El oxígeno debe ser mayor  $4.0\text{mgO}_2/\text{l}$ , rango deseable para el crecimiento del pez.

Debe tener alguno de los tipos de aireación:

- **Natural:** Tales como caídas de agua, cascadas y sistemas de abanico.
- **Mecánica:** Electrobombas, aireadores y generadores de oxígeno líquido.

- **Temperatura:** Los peces son animales poiquilotermos (su temperatura corporal depende de la temperatura del medio) y altamente termófilos (dependientes y sensibles a los cambios de la temperatura). El rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias fluctúa en un rango de  $28^{\circ}\text{C}$  a  $32^{\circ}\text{C}$ , o una tolerancia de  $5^{\circ}\text{C}$ .

- **Dureza:** Concentración de los iones de Calcio y Magnesio con unidad de  $\text{mgO}_2/\text{l}$ .
- **PH:** Iones de hidrógeno en el agua con promedio de 6.5 a 9.0.

**Alimentación:** Proceso que suministra los carbohidratos necesarios para el desarrollo de la tilapia durante todas las etapas de vida, a continuación, se muestra la alimentación requerida según la etapa de producción del cultivo:

Alevinos: 45% de proteína → Mes o ½ mes en polvo

Crecimiento: 38% de proteína → 2 Meses granulado

Pre-engorde: 32% de proteína → 2 Meses granulado

Engorde: 28% de proteína → Mes y ½ granulado

Fin: 25% de proteína → ½ mes granulado

Esta información se debe tener en cuenta debido a la descomposición de este alimento en el agua, ya que genera amonio que es mortal para los peces, al disminuir la oxigenación del lago (Villafuerte Vega, 2014).

### 1.3.2 Oxígeno disuelto

Todo sistema vivo necesita desarrollarse para poder sobrevivir, una de ellas es la tilapia que necesita de condiciones como temperatura, pH, oxígeno, entre otras, para poder cumplir su ciclo de vida; utilizando estanques o lagos de tipo geomembrana, es decir, ambientes simulados se obtiene la oxigenación por medio de mecanismos generadores de oxígeno los cuales deben cumplir con un mínimo requerido de  $mgO_2/l$  según la cantidad

de peces por espacio ocupado, lo que lleva a estos sistemas a estar en funcionamiento de manera permanente a través de sistemas naturales, mecánicos o eléctricos.

### 1.3.3 Proceso productivo.

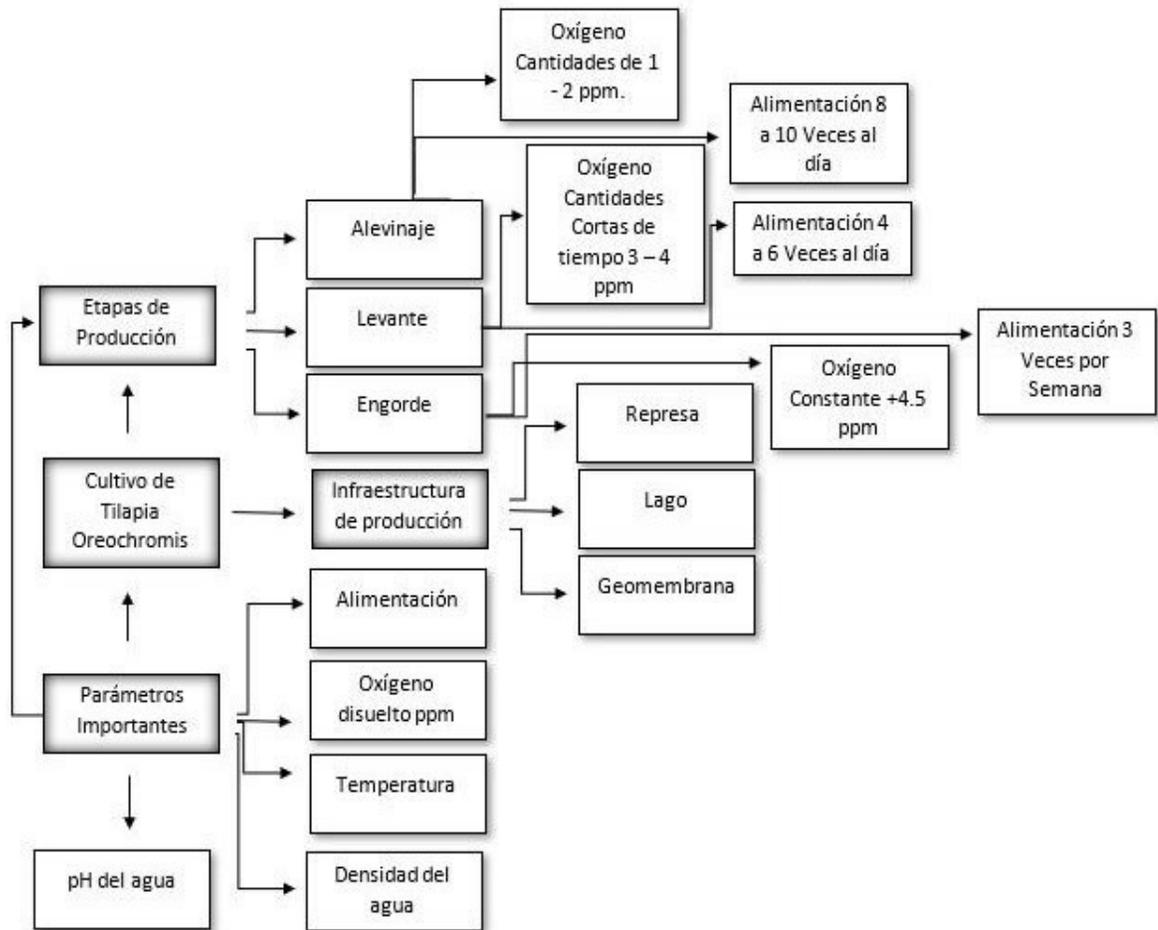
El cultivo de tilapia se desarrolla a partir de la adquisición de la semilla proveniente de piscícolas con permisos ambientales, las cuales realizan el proceso de reversión a los alevinos, es decir, anulación de su capacidad para su reproducción, teniendo así el control de la producción del cultivo.

El cultivo de tilapia se desarrolla en tres etapas de producción las cuales son:

- **Pre cría:** Comprende la crianza de alevinos con un peso promedio de 1 a 5 gramos. Generalmente, se realizan en estanques pequeños, recubierto en una anti pájaros para evitar la depredación, con una tope de 50 a 60 alevinos por  $m^2$ , mientras que en esta fase no se utilizan elementos de oxigenación, su alimentación se contiene un 45% de proteína, repartidas 8 a 10 veces al día.



**Figura 1- 8:** Proceso de cultivo de tilapia



Fuente: Autores

## 1.4 Marco Legal

Actualmente, se hace necesario el cumplimiento con un régimen de normas para el adecuado consumo de energía en las industrias con la intención de mantener el cuidado ambiental; entre estos regímenes normativos en concordancia con la aplicación al proyecto, se hace necesaria la mencionada a continuación:



## Capítulo 2: Diseño Ingenieril

En este capítulo se presenta la caracterización del sistema actual de oxigenación para un cultivo de tilapia en 4 lagos de geomembrana, ubicados en la vía Campoalegre - Hobo kilómetro 8 departamento del Huila, el seguimiento de las condiciones meteorológicas de temperatura y radiación del sitio, el diseño de un sistema fotovoltaico, capaz de suministrar la energía suficiente para mantener el oxígeno necesario bajo las condiciones que presenta el sistema actual. Para el diseño que se propone inicialmente, se considera los factores de perdida de los elementos fotovoltaicos bajo condiciones ideales, es decir, se estima un rendimiento de trabajo del panel del 100% y se desestima la profundidad de descarga de las baterías (60%), posteriormente, se desarrolla su simulación a través del software Matlab con la herramienta simulink, debido a que el diseño no permite la recarga de las baterías, es decir, su autonomía no es suficiente para mantener energizado el generador de oxígeno, posteriormente se realiza un nuevo rediseño teniendo en cuenta el comportamiento de las condiciones de radiación y temperatura de 6 meses, comprendidos entre febrero a julio del año 2019 del lugar de trabajo y adicionalmente los factores de perdida por uso de los elementos fotovoltaicos, según datos del fabricante y se simula; es allí donde el sistema logra una recarga de las baterías del 99.9%, en donde finalmente con el análisis de los resultados se logra cumplir con los requerimientos necesarios.

### 2.1 Caracterización del sistema actual

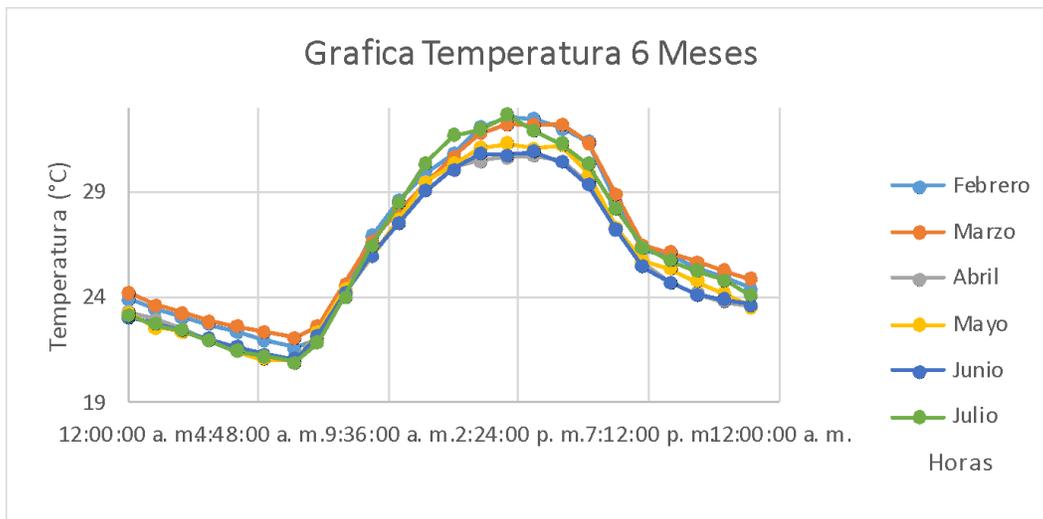
La unidad piscícola consta de 4 lagos de geomembrana de  $1,2m$  de altura y  $9m$  de diámetro cada uno y un sistema de oxigenación que contiene un blower que trabaja  $110V AC$  con un consumo de  $1600W$  que está alimentado del sistema eléctrico interconectado nacional y el cual presenta fallas, ya que se encuentra en un sector rural. Este sistema de oxigenación

genera de 3 a 4  $mgO_2/l$ , esto se comprobó a través de una prueba de oxígeno tomada en la geomembrana a 3m del actuador generador de oxígeno a una profundidad de 10cm cuando el sistema del blower se encontraba en funcionamiento y tras un periodo de 24 horas, fue analizada en el LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS dando como resultado 4,5 $mgO_2/l$  de oxígeno disuelto siendo esta óptima para la producción del cultivo de tilapia, al desarrollar una producción semi-intensiva, es decir, que se requiere de uso de sistemas de aireación y suministro de alimentación permanente, generando una biomasa de 12 kilos por  $Kg/m^3$ , con peso esperado por pez de 500 gramos, para la obtención final de un aproximado de 2.200 peces. (Ver Anexo F)

## 2.2 Radiación solar y temperatura en la zona de influencia del sistema

Para determinar la radiación solar y la temperatura en la zona de influencia del sistema se realiza un muestreo de estas variables cada hora, las 24 horas del día durante un periodo de seis meses comprendido desde febrero a julio del año 2019, con un total de 4.344 horas, es decir, un monitoreo constante de 181 días, los datos se obtuvieron a través de una estación meteorológica ubicada en el municipio de Campoalegre y se presentan a continuación en la **Figura 2- 1** y **Figura 2- 2** los datos pueden apreciarse en el ( **Ver Anexo A**). (Tablas de comportamiento).

**Figura 2- 1:** Datos de temperatura en un periodo de 6 meses

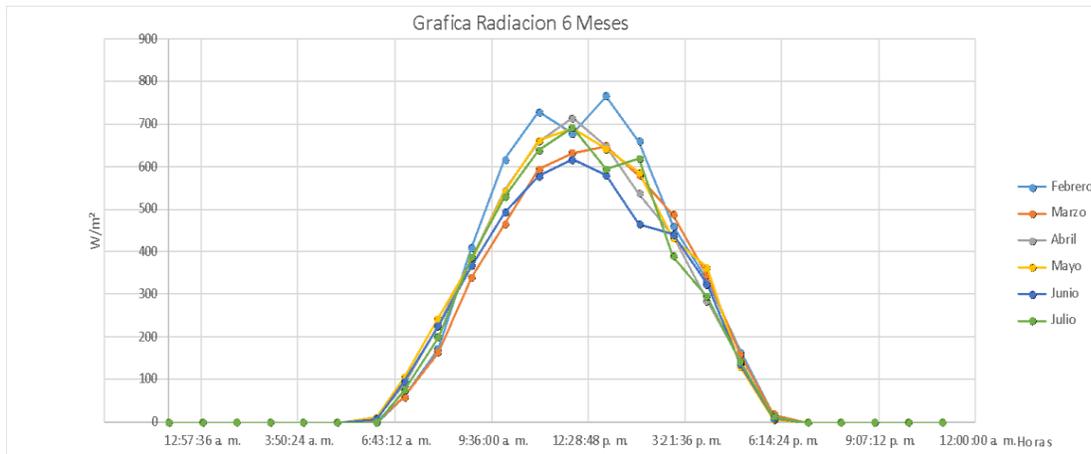


Fuente: Autores

En la gráfica se puede apreciar que en el transcurso de todos los meses el aumento de la temperatura ocurrió a partir de las 6:10 a.m. hasta las 2:30 p.m., con una diferencia de aproximadamente 11°C; se determina también que el pico máximo de temperatura a nivel general de los meses se da en el transcurso de la 1:00 p.m. hasta 3:00 p.m.; en los meses de abril - mayo - junio, se presenta una disminución de temperatura a comparación de los meses de febrero - marzo - julio, produciéndose un promedio máximo de temperatura del primer grupo de meses de 30.5°C en comparación con el aumento a 32.56°C del segundo grupo de meses estableciéndose así una diferencia del 6.3%.

Al igual que la temperatura se realizó un seguimiento a la radiación tomando el mismo número de muestras y en el mismo periodo de tiempo como se puede apreciar en la **Figura 2- 2.**

**Figura 2- 2:** Datos de radiación en un periodo de 6 meses



Fuente: Autores

De la gráfica se puede apreciar que en el transcurso de las 6:10 a.m. hasta las 6.00 p.m. hay presencia de radiación, el pico máximo de radiación se da en el mes de febrero con un valor de  $765 \text{Wh} / \text{m}^2$  a la 1:00 p.m., y el menor pico de radiación se da en el mes de junio con un valor de  $616 \text{Wh} / \text{m}^2$  a las 12:00 p.m.; los meses de febrero - abril - mayo - julio

presentan mayor radiación con un valor promedio de  $715.25 \text{Wh} / \text{m}^2$  con respecto a los meses de marzo y junio con valor promedio de  $628.5 \text{Wh} / \text{m}^2$ , es decir, una diferencia de  $86.75 \text{Wh} / \text{m}^2$ ; a pesar de las diferencias de radiación en el transcurso de los meses se concluye que se brinda las condiciones suficientes para poder implementar un sistema fotovoltaico.

### 2.3 Diseño del sistema fotovoltaico para generación de oxígeno en las geomembranas.

En esta sección se tiene en cuenta el diseño del sistema fotovoltaico para la generación de oxígeno a las geomembranas, partiendo con la selección del elemento actuador, en donde se tiene en cuenta su consumo energético, precio y aporte de  $\text{mgO}_2/\text{l}$  de oxígeno;

continuando con la carga que deberá soportar el sistema fotovoltaico y así poder realizar los respectivos cálculos de los elementos fotovoltaicos teniendo en cuenta su comportamiento en condiciones ideales y finalmente se realizara simulaciones de todo el sistema para analizar su comportamiento y así determinar el mejor sistema para llevar a cabo.

### 2.3.1 Determinación del nuevo elemento actuador para el sistema fotovoltaico.

Teniendo en cuenta el sistema de oxigenación existente, cuyo actuador es el blower alimentado del sistema eléctrico interconectado nacional, se procede a la búsqueda de un nuevo elemento generador de oxígeno teniendo en cuenta que su consumo será suministrado por el sistema fotovoltaico, es por ello que se consideran características de su consumo energético, precio y partículas por millón de oxígeno que puede proporcionar en la geomembrana.

- **Consumo energético:** Se procede a realizar una comparación entre diferentes elementos actuadores generadores de oxígeno que puedan suplir la necesidad requerida en las geomembranas; basándose específicamente en su consumo energético por cada hora de funcionamiento, la información se muestra en la **Tabla 2- 1**.

**Tabla 2- 1:** Consumo energético

Elemento	Consumo
<i>Blower HG</i>	1600 Wh AC ~ 14,54 A
<i>Aireador Sumergible EM – M – FB</i>	1500 Wh AC ~ 13,63 A
<i>Compresor de aire Resun MPQ – 907</i>	150 Wh DC ~ 12,5 A
<i>Compresor de aire Resun MPQ – 906</i>	120 Wh DC ~ 10,00 A

Fuente: Autores

Conociendo el respectivo consumo energético según la ficha técnica del fabricante de cada elemento se optó por la implementación del compresor de aire Resun MPQ-906.

- **Precio:** Los precios de los elementos varían según su tamaño, potencia, modo de implementación, entre otras características, de acuerdo a lo consultado su valor en el mercado corresponde a 1.5 millones de pesos para el blower, aireadores sumergibles desde 1 millón de pesos, compresores de aire tipo Resun MPQ-907 desde 700 mil pesos y los compresores de aire tipo Resun MPQ-906 desde 500 mil pesos; siendo estos últimos los más accesibles económicamente.

- **Miligramos de oxígeno disuelto por litro ( $mgO_2/l$ ):** Los elementos seleccionados fueron tomados en cuenta debido a su aplicación en geomembranas, es decir, gracias a su método de funcionamiento a partir de burbujas generadas por flujo de aire las cuales se encargan de suministrar el oxígeno en el agua, tomando en cuenta su rango de aspersión y mayor beneficio al cultivo en donde se implementará.

Teniendo en cuenta la investigación de (Khuntia et al., 2012) para la obtención de oxígeno se considera que la burbuja generada por los mecanismos debe ser de tipo micro, ya que esta disminuye su tiempo y velocidad en salir a la superficie, lo que conlleva a una más larga duración del oxígeno en la geomembrana, en donde este mecanismo deberá funcionar tanto en el día como en la noche. (Khuntia et al., 2012)

### **2.3.2 Carga que va a tener el sistema fotovoltaico a implementar**

Después de establecer que el actuador a utilizar es el compresor de aire Resun MPQ-906 se procede a determinar la carga que definirá el sistema fotovoltaico a implementar, se establece que el número de compresores necesarios para mantener la concentración de oxígeno disuelto en los niveles requeridos es de 4 debido al número de geomembranas, este sistema, cuenta con compresores de aire en corriente directa (DC), que consta cada uno de ellos de una potencia de  $120W$  y adicionalmente se adiciona la carga de cinco (5) lámparas cada una con una potencia de  $20W$  , ofreciendo más 2000 lúmenes suficientes para la iluminación requerida en los lagos en las horas de la noche.

Este sistema consta de 4 compresores de aire Resun MPQ - 906 ( $CE_1 = 4$ ), y 5 lámparas ( $CE_2 = 5$ ). Las potencias respectivas de estos están dadas en  $P_1 = 120W$  y la segunda con  $P_2 = 20W$ . Datos suministrados por los fabricantes. Estos dispositivos están sometidos a una periodicidad de  $(hd) = 12h/día$ , comprendiendo un horario de 6:00 p.m. a 6:00 a.m., tiempo de objeto de estudio.

El consumo de energía total de cada dispositivo está dado por la operación aritmética (multiplicación) de la cantidad de elementos, potencia respectiva y tiempo de trabajo; dando como resultado  $P_{T1} = 5760Wh/día$  en el compresor de aire y  $P_{T2} = 1200Wh/día$  en lámparas. (Ramírez et al., 2016)

Para hallar el valor del consumo, se aplicó la **Ecuación 2.1**

$$P_{Tn} = CE_n * P_n * hd_n \quad (2.1)$$

$$P_{T1} = 4 * 120W * 12h/día$$

$$P_{T2} = 5 * 20W * 12h/día$$

$$P_{T1} = 5760Wh/día$$

$$P_{T2} = 1200Wh/día$$

$$P_{Total} = P_{T1} + P_{T2}$$

$$P_{Total} = 5760Wh/día + 1200Wh/día$$

$$P_{Total} = 6960Wh/día$$

La **Ecuación 2.1** arroja un total de valor de potencia consumida por los elementos de  $P_{Total} = 6960Wh/día$  aumentado un 10% en su sistema fotovoltaico (**ver Ecuación 2.2**) correspondiente a la tolerancia por perdidas de cableado, optimizando su funcionamiento. (Ramírez et al., 2016)

$$PT_{\%10} = P_{Total} * 10\% = 7656Wh/día \quad (2.2)$$

Obtenido el valor de potencia consumida por los elementos se realizó los cálculos respectivos para los diferentes componentes y demás variables a utilizar en el sistema.

Teniendo establecidos los valores de carga energética demostrados en la **Ecuación 2.2** con un valor final de  $7656Wh/día$ , utilizando el promedio de radiación de  $3584.62Wh/m^2$  (**Ver Anexo C**) se obtuvo el valor de HPS teniendo como referencia las medidas estándar STC, las cuales nos permiten cumplir las características eléctricas de funcionamiento de los paneles solares, es decir, para obtener el valor de HPS se debe dividir el promedio de radiación de  $3584.62Wh/m^2$  entre  $1000Wh/m^2$ ; se realizó una operación parcialmente definida (división) con estos dos valores, deduciendo la cuantificación de la demanda energética (**Ver Ecuación 2.3**).

$$Carga\ energética = \frac{PT_{\%10}}{HPS} \quad (2.3)$$

$$Carga\ energética = \frac{7656Wh/día}{3,584}$$

$$Carga\ energética = 2136.1607Wh/día$$

### 2.3.3 Cantidad de elementos fotovoltaicos a utilizar bajo condiciones ideales.

Obteniendo el valor de la demanda energética dado en la **Ecuación 2.3** se procedió al cálculo de la cantidad de paneles, aplicando la **Ecuación 2.4**, teniendo como base una potencia del panel de  $250W$ , para calcular la cantidad respectiva y optándose con un  $P_G$  igual a 1 ya que el análisis se desarrollará bajo condiciones ideales.

$$Cantidad\ de\ Paneles = \frac{Carga\ Energética}{W_{Panel} * P_G} \quad (2.4)$$

$$Cantidad\ de\ Paneles = \frac{2136.1607Wh}{250Wh * 1}$$

$$Cantidad\ de\ Paneles = 8.5446 \approx 9\ paneles$$

Para determinar la capacidad de las baterías y encontrar la cantidad necesaria de las mismas para satisfacer los requerimientos del sistema bajo condiciones ideales, se aplica la **Ecuación 1.12** utilizando el resultado obtenido en la **Ecuación 2.2** que corresponde a la potencia consumida siendo esta igual a  $7656Wh/día$ , es importante aclarar que  $N$  corresponde al número de días de autonomía que para este caso se escogió igual a 1 ya que el sistema debe encontrarse en funcionamiento diariamente durante  $12h$  por lo tanto se sobrediseña al doble escogiéndose este número de días debido a que el estudio de las condiciones meteorológicas realizado en el sitio durante 6 meses consecutivos evidencia que en el peor de los casos la cantidad de radiación supera el mínimo rango para permitir la carga de las baterías, adicional se tiene en cuenta el voltaje de batería proporcionado por el fabricante que en este caso es de  $12V DC$ , y el porcentaje de profundidad de descarga  $P_d$  se mantiene bajo condiciones ideales.

$$C_n(Ah) = \frac{PT\%10*N}{V_{baterías} * P_d} \tag{1.12}$$

$$C_n(Ah) = \frac{7656Wh/día*1}{12V DC * 1}$$

$$C_n(Ah) = 638Ah \text{ / día}$$

Adquiriendo el valor de capacidad de las baterías con  $638 Ah \text{ / día}$ , se calculó la cantidad a usar de estas en el sistema (**Ver Ecuación 2.5**), operado con la capacidad nominal de la batería correspondiente a  $150Ah$  de acuerdo con la información del fabricante y el factor global de perdidas  $P_G$  bajo condiciones ideales.

$$CantidaddeBaterías = \frac{C_n(Ah)}{Capacidad\ nominal * P_G} \tag{2.5}$$

$$CantidaddeBaterías = \frac{638Ah \text{ / día}}{150Ah * 1}$$

$$Cantidad\ Baterías = 4.25 \approx 5\ Baterías$$

Por otro lado, se establece la corriente de controlador como se muestra en la **Ecuación 2.6**, considerando la carga energética que es  $2136.1607 Wh/día$ , valor determinado

anteriormente en la **Ecuación 2.3** operado con valor de voltaje del panel solar que es 30V DC.

$$\text{Corriente del controlador} = \frac{\text{Carga Energética}}{V_{\text{panel}}} \quad (2.6)$$

$$\text{Corriente del controlador} = \frac{2136.1607}{30V \text{ DC}}$$

$$\text{Corriente del controlador} = 71.2053A$$

Contando con una corriente de controlador de 71.2053A , se deduce la cantidad de controladores a usar (**Ver Ecuación 2.7**) realizando la división respecto a la corriente y un valor específico a utilizar cuya corriente máxima es de 50A.

$$\text{Cantidad de controladores} = \frac{\# \text{Corriente del controlador}}{I_{\text{Max controlador}}} \quad (2.7)$$

$$\text{Cantidad de controladores} = \frac{71.2053A}{50A}$$

$$\text{Cantidad de controladores} = 1.4241 \approx 2 \text{ Controladores}$$

Finalmente, para el cálculo de la cuantificación del inversor, se realizó la sumatoria de cargas en corriente alterna (AC) siendo esta, la carga de las luminarias, como se muestra a continuación (**Ver Ecuación 2.8**)

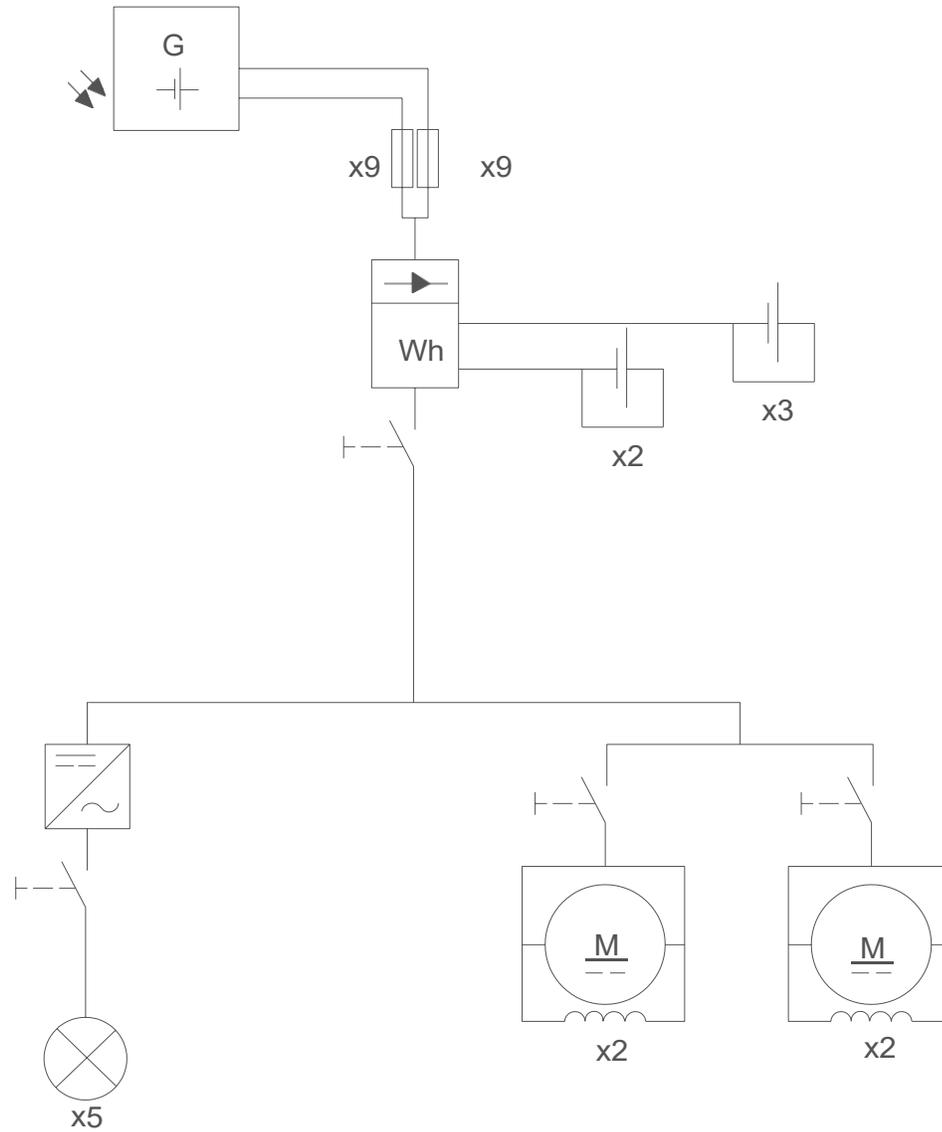
$$\# \text{Inversor} = \sum \text{Cargas AC} \quad (2.8)$$

$$\# \text{Inversor} = 100W$$

En resumen, los resultados de los procesos matemáticos conceptualizan la cantidad de elementos y potencia de cada uno de ellos. El sistema estará compuesto por nueve paneles de 250W de potencia, cinco baterías de capacidad de 150Ah, dos controladores de 50A y un inversor de 100W.

El sistema con todos sus elementos fotovoltaicos se puede apreciar en la **Figura 2- 3**.

Figura 2- 3: Diagrama eléctrico



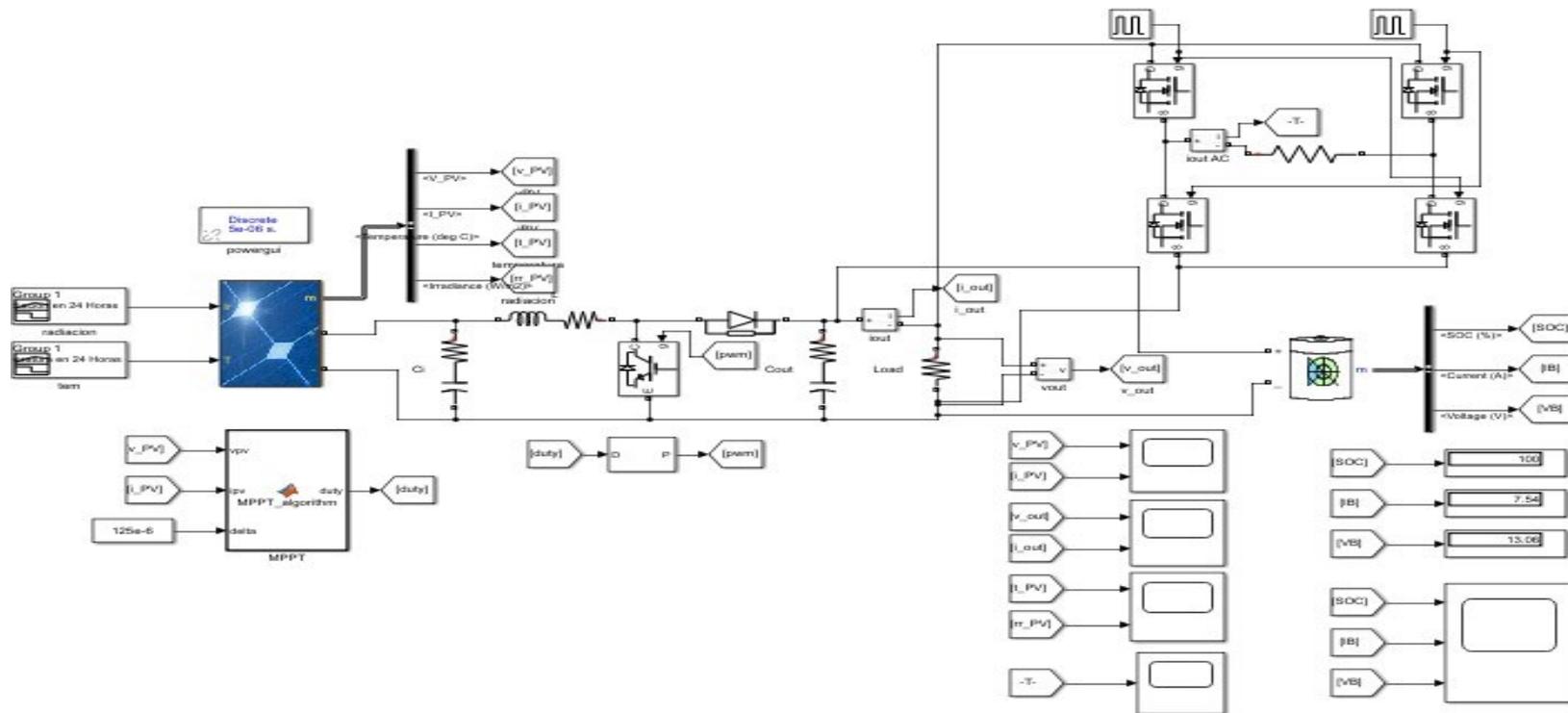
Fuente: Autores

### **2.3.4 Simulación del sistema fotovoltaico diseñado bajo condiciones ideales**

De acuerdo con la carga encontrada  $7656Wh/dia$  como aparece en la **Ecuación 2.2**. Se simuló un sistema compuesto por 9 paneles de  $250W$  en paralelo y 5 baterías de  $150Ah$  en paralelo, como se ilustra en la **Figura 2- 4**.

A continuación, se presenta el diagrama de conexiones que se llevó a cabo a través de simulink (**Figura 2- 4**).

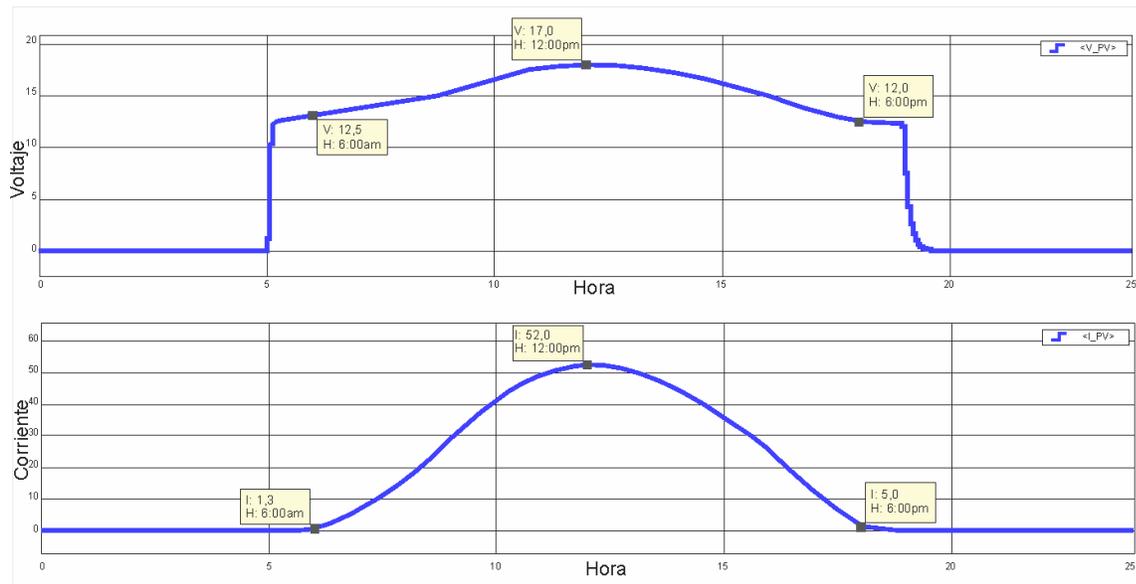
Figura 2- 4: Diagrama de conexiones de bloques de sistema fotovoltaico



Fuente: Autores

Al usar el bloque **PV Array**, se dio respuesta a la relación radiación - temperatura tomada durante 6 meses, cada hora durante 24 horas al día, dando como respuesta el voltaje y la corriente mostrada en la **Figura 2- 5**.

**Figura 2- 5:** Voltaje y corriente del sistema



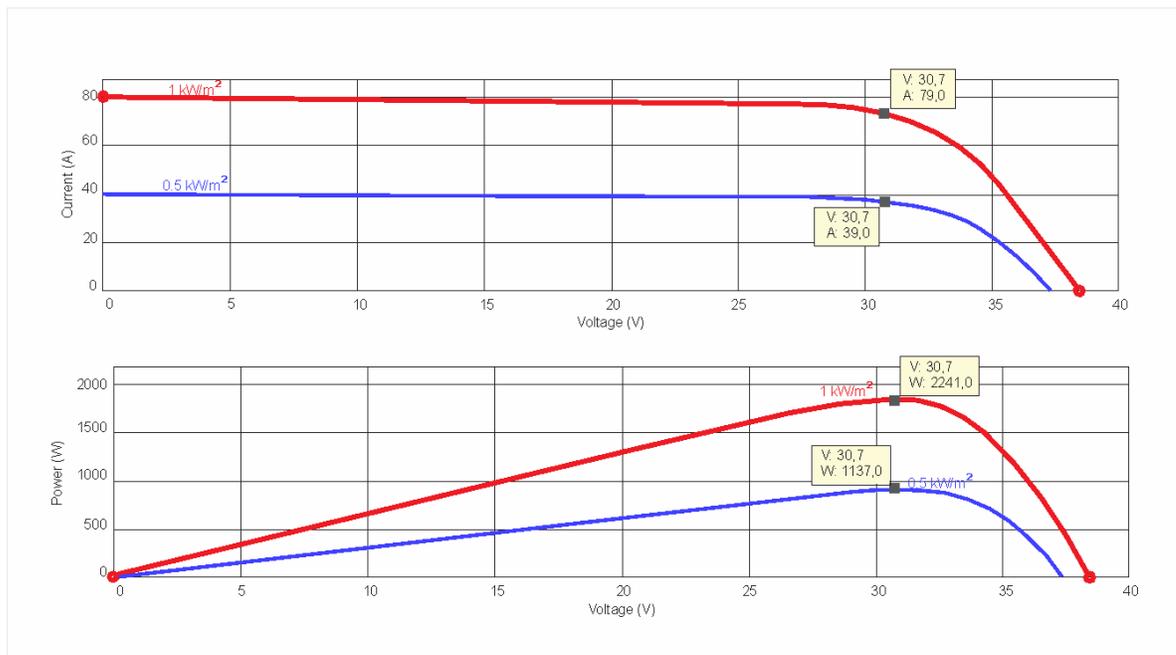
Fuente: Autores

Los datos de entrada utilizados en la herramienta Signal Builder que fueron tomados en un periodo de 24 horas iniciando las 6:00 a.m. con un valor de radiación solar de  $5.5563 \text{ kWh/m}^2$ , dando como respuesta  $12.5V$  y una corriente de  $1.3A$ ; A las 12:00 p.m. se registró el punto máximo con  $670.1 \text{ kWh/m}^2$  con respuesta de  $17V$  y una corriente de  $52A$ . Finalmente, a las 6:00 p.m. se obtuvo  $13.1392 \text{ kWh/m}^2$  con un voltaje de  $12V$  de respuesta y  $5A$  en su corriente. Por otro lado, en la temperatura se registró el valor mínimo a las 6:00 a.m. con  $21.2662 \text{ }^\circ C$  y  $31.7066 \text{ }^\circ C$  a las 2 p.m. siendo la temperatura máxima.

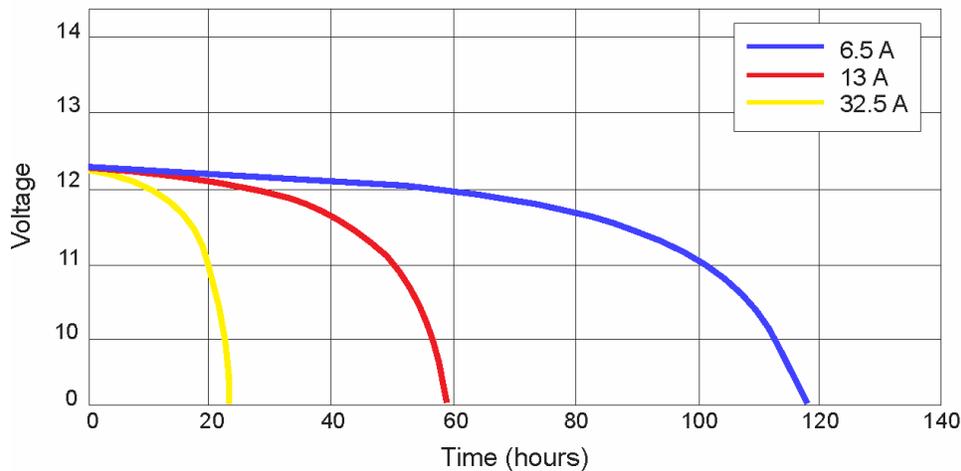
Comparando los datos obtenidos se dictaminó que los valores de voltaje y corriente del arreglo de paneles solares dependen directamente de la cantidad de energía obtenida por la radiación solar y la temperatura en la que se desarrolla el sistema.

La eficiencia se denomina como la cantidad solar que recibe el panel, convirtiéndose en electricidad, en la **Figura 2- 6** se ilustra la eficiencia de 9 paneles en conexión paralelo demostrando diferentes potencias y corrientes máximas, obtenidas según la cantidad de radiación suministrada en la entrada del sistema; la **Figura 2- 6** evidencia la relación corriente - voltaje de acuerdo a los  $\text{kWh} / \text{m}^2$  establecidos, dando a conocer los picos máximos de corriente; al proporcionar  $1 \text{ kWh} / \text{m}^2$  de radiación solar se obtuvo una eficiencia de  $72\text{A}$  con  $30.7\text{V}$ , del mismo modo se disminuyó el suministro de radiación solar a  $0.5 \text{ kWh} / \text{m}^2$  evaluando una eficiencia de  $39.0\text{A}$  y un voltaje de  $30.7\text{V}$ .

**Figura 2- 6:** Eficiencia de arreglo de 9 paneles en paralelo

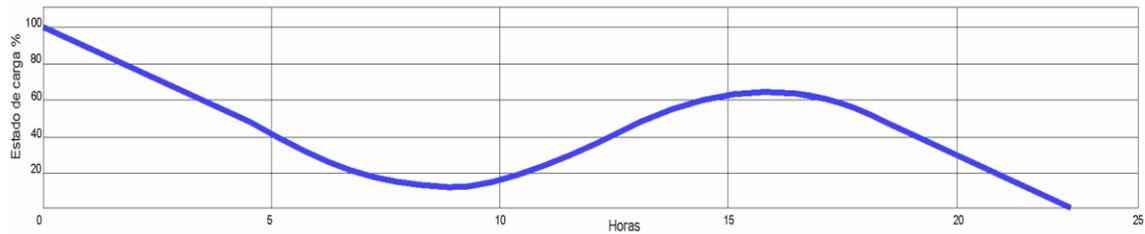


Fuente: Autores

**Figura 2- 7:** Durabilidad de baterías según la corriente del sistema

Fuente: Autores

La durabilidad del banco de baterías es una parte esencial para garantizar el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico, en la **Figura 2- 7** se asegura que de acuerdo a la necesidad de carga que suministra el banco de baterías el comportamiento de la durabilidad disminuye notablemente conforme a la corriente utilizada, concluyendo que a mayor demanda energética hay menor tiempo de uso, es decir, cuando hay un consumo de 6.5 Ah va tener una duración de 118 horas, igualmente, cuando el consumo son de 13 y 32.5 Ah tienen una durabilidad de 59 y 23 horas respectivamente. Adicionalmente las baterías cuentan con un comportamiento de estado de carga y descarga, conocida por sus siglas SOC. En la **Figura 2- 8** se refleja el comportamiento de las baterías usadas en el proyecto durante un tiempo de 24 horas.

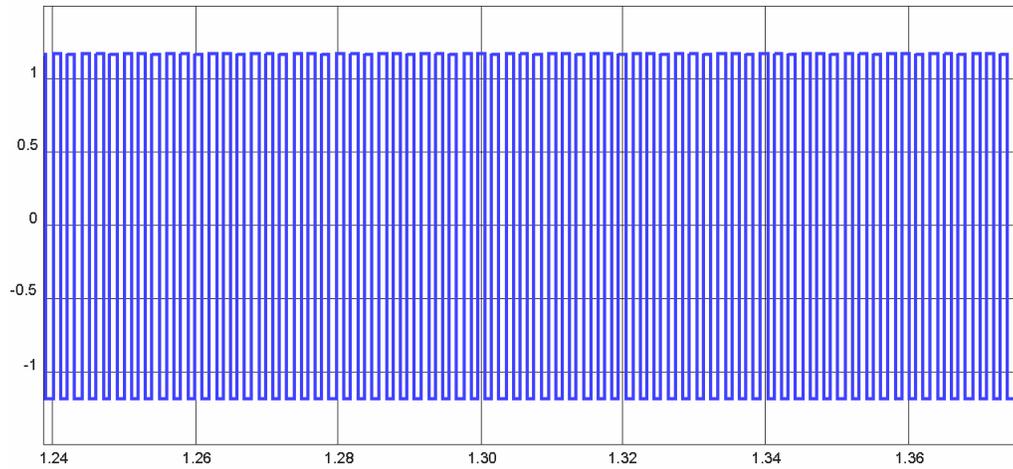
**Figura 2- 8:** SOC (Carga y descarga de baterías)

Fuente: Autores

Las baterías se dieron inicio con un *SOC* del 100% en la hora de la noche, cambiando la curva a medida del tiempo, exponiendo una reducción en esta hasta en horas de la mañana que por medio de la radiación complementa la energía a los actuadores, siendo allí donde las baterías quedan en un estado de carga constante en el transcurso del día, volviendo a empezar el ciclo en las horas de la noche tomando las baterías nuevamente el control del suministro de energía.

El banco de baterías suministro durante el periodo del sistema una corriente de 22,4A como se exhibe en la **Figura 2- 9** y un voltaje de 13.10V mostrado en la **Figura 2- 10**, posteriormente la corriente en la **Figura 2- 9**, disminuye al entrar el sistema fotovoltaico reemplazando la energía requerida, por eso la **Figura 2-10** manifiesta el aumento de voltaje de las baterías al quedar en carga constante durante el tiempo que el sistema energiza los actuadores, cargando nuevamente las baterías.



**Figura 2- 11:** Consumo de los elementos del sistema en AC

Fuente: Autores

El comportamiento de salida del voltaje y corriente en el sistema, se expone en la **Figura 2- 12** demostrando un valor de consumo de  $13.075V$  con el sistema fotovoltaico funcionando del mismo modo la corriente tiene un consumo promedio de  $22.4A$  con todo el sistema implementado.



## 2.4 Rediseño del sistema

Este sistema ilustrado en la **Figura 2- 13** consta de cuatro compresores de *aire ResunMPQ-906* ( $CE_1=4$ ), y cinco lámparas ( $CE_2=5$ ). Sometidos a una periodicidad de  $(hd) = 12_h$ , en un horario de 6:00 p.m. a 6:00 a.m., tiempo objeto de estudio.



El consumo de energía de cada dispositivo ya conocida anteriormente tiene como resultado  $P_{T1} = 5760 \text{ Wh}$  en el compresor de aire y  $P_{T2} = 1200 \text{ Wh}$  en lámparas. (Ramírez et al., 2016)

Para hallar el valor del rediseño del sistema fotovoltaico, se tiene en cuenta el valor ya conocido de la potencia consumida por los elementos  $P_{Total} = 6960 \text{ Wh} / \text{día}$  aumentado un 10% en su sistema fotovoltaico (**Ver Ecuación 2.2**) correspondiente a pérdidas de cableado, para optimizar su funcionamiento. (Ramírez et al., 2016)

$$P_{T\%10} = P_{Total} * 10\% \text{ dando como resultado una potencia consumida de } 7656 \text{ Wh} / \text{día}.$$

Teniendo establecidos los valores de potencia consumida demostrados en la **Ecuación 2.2** y comportamiento de radiación (**Ver Anexo C.**) se obtuvo el valor de HPS teniendo como referencia las medidas estándar STC donde finalmente se conoce la carga energética (**Ver Ecuación 2.3**).

$$Carga\ energética = \frac{P_{T\%10}}{HPS} \quad (2.3)$$

$$Carga\ energética = \frac{7656 \text{ Wh} / \text{día}}{3,584}$$

$$Carga\ energética = 2136.1607 \text{ Wh} / \text{día}$$

Obteniendo el valor de la carga energética, ahora se aplica la **Ecuación 2.4**, teniendo como base una potencia de panel de  $250W$ , para calcular la cantidad respectiva, se tiene en cuenta el factor global de pérdidas ( $P_G$ ), que en este caso es un déficit del 10% en el transcurso de los primeros 12 años de su vida útil según datos del fabricante (**Ver Anexo H**), teniendo en cuenta este factor se mejora la generación de energía debido a que con el análisis arrojado por la simulación del sistema bajo condiciones ideales de los elementos fotovoltaicos se requería un aumento del sistema generador ya que no se cumplía con la carga suficiente para proporcionar al banco de baterías.

$$Cantidad\ de\ Paneles = \frac{Carga\ Energética}{W_{Panel} * P_G} \quad (2.4)$$

$$Cantidad\ de\ Paneles = \frac{2136.1607 \text{ Wh}}{250W * 0.9}$$

$$Cantidad\ de\ Paneles = 9.49 \approx 10\ paneles$$

Para determinar nuevamente la capacidad de las baterías en condiciones reales se aplica la **Ecuación 1.12**, ahora considerando un porcentaje de descarga del 40% ya que de acuerdo a lo presentado por (Ivan Cowie, 2014) la descarga máxima de las baterías de ácido-plomo no debe superar el 60% pues esto compromete la vida útil de las mismas, razón por la cual se utiliza el valor de 0.6 en los cálculos, el porcentaje de días de autonomía se mantiene en 1 y para encontrar el número de baterías de acuerdo a la **Ecuación 2.5** se toma en cuenta un factor global de pérdidas ( $P_G$ ) por deterioro a lo largo del tiempo del 10% utilizándose el valor de 0.9 para realizar los cálculos, con estas consideraciones se consigue aumentar en un 50% aproximadamente la capacidad del sistema acumulador y así garantizar el almacenamiento suficiente energía para que el sistema de oxigenación funcione correctamente durante 12h.

$$C_n (Ah) = \frac{PT_{\%10} * N}{V_{baterias} * P_d} \quad (1.12)$$

$$C_n(Ah) = \frac{7656 * 1}{12VDC * 0.6} = 1063.3Ah$$

$$Cantidad\ de\ Baterías = \frac{C_n(Ah)}{Capacidad\ Nominal * P_G} \quad (2.5)$$

$$Cantidad\ de\ Baterías = \frac{1063.3\ Ah}{150\ Ah * 0.9}$$

$$Cantidad\ de\ Baterías = 7.87 \approx 8\ Baterías$$

Por otro lado, se establece la corriente de controlador como se muestra en la **Ecuación 2.6**, considerando la carga energética que es  $2136.1607\ Wh / dia$ , valor determinado anteriormente en la **Ecuación 2.3** operado con valor de voltaje del panel solar que es  $30V\ DC$ .

$$\#Corriente\ del\ controlador = \frac{Carga\ Energética}{V_{panel}} \quad (2.6)$$

$$\#Corriente\ del\ controlador = \frac{2136.1607\ Wh / dia}{30V\ DC}$$

$$\#Corriente\ del\ controlador = 71.2053A$$

Contando con una corriente de controlador de 71.2053A , se deduce la cantidad de controladores a usar (**Ver Ecuación 2.7**) realizando la división respecto a la corriente y un valor específico a utilizar cuya corriente máxima es de 50A.

$$\#Cantidad\ de\ controladores = \frac{\#Corriente\ del\ controlador}{I_{Max\ controlador}} \quad (2.7)$$

$$\#Cantidad\ de\ controladores = \frac{71.2053A}{50A}$$

$$\#Cantidad\ de\ controladores = 1.4241 \approx 2\ Controladores$$

Finalmente, para el cálculo de la cuantificación del inversor, se realizó la sumatoria de cargas en corriente alterna (AC) siendo esta, la carga de las luminarias, como se muestra a continuación (**Ver Ecuación 2.8**)

$$\#Inversor = \sum Cargas_{AC} \quad (2.8)$$

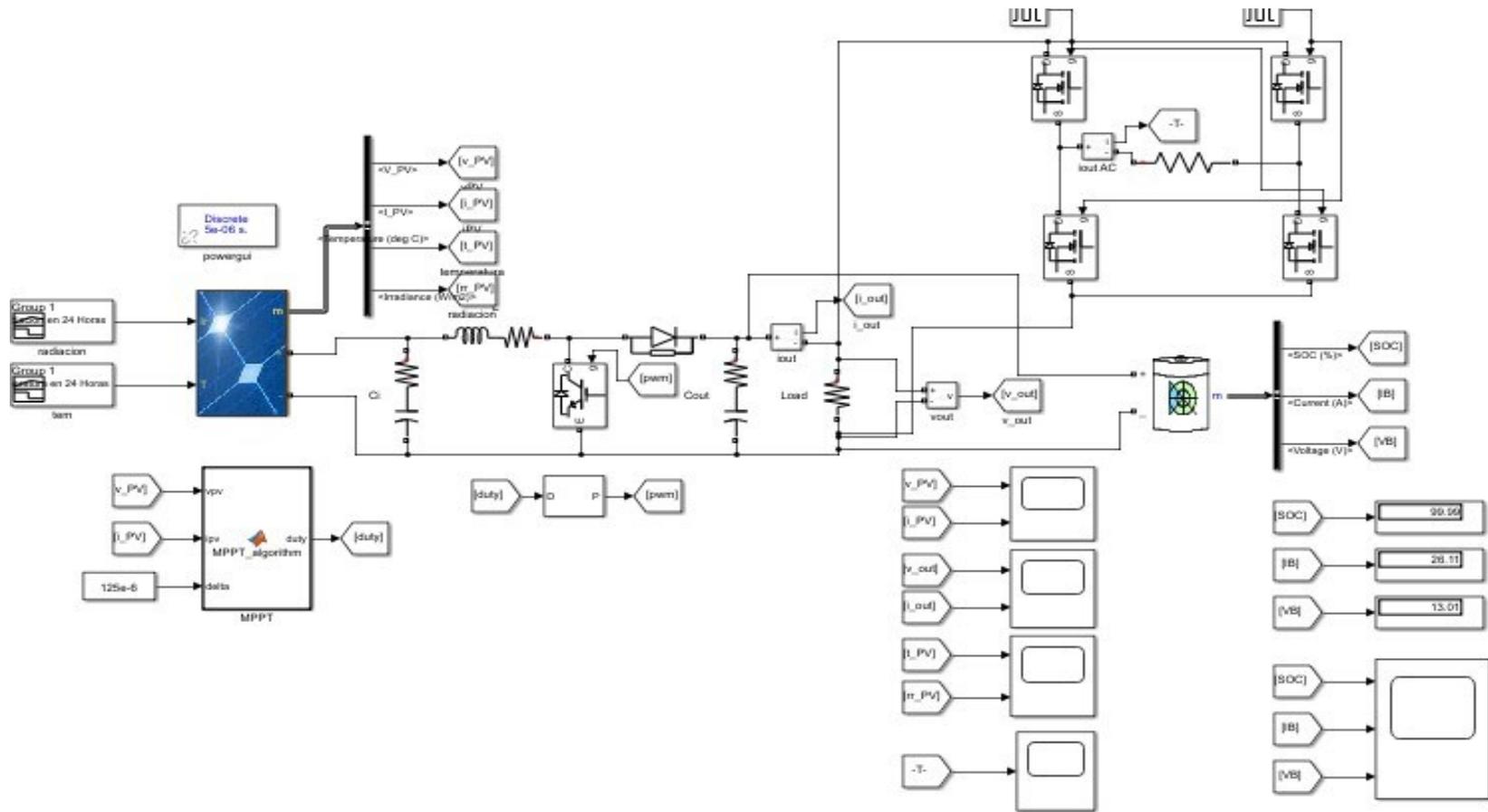
$$\#Inversor = 100W$$

En resumen, los resultados de los procesos matemáticos conceptualizan la cantidad de elementos y potencia de cada uno de ellos. El escenario rediseñado, estará compuesto por diez paneles de 250W, ocho baterías de capacidad de 150Ah, dos controladores de 50A y un inversor de 100W.

### 2.4.1 Simulación sistema rediseñado

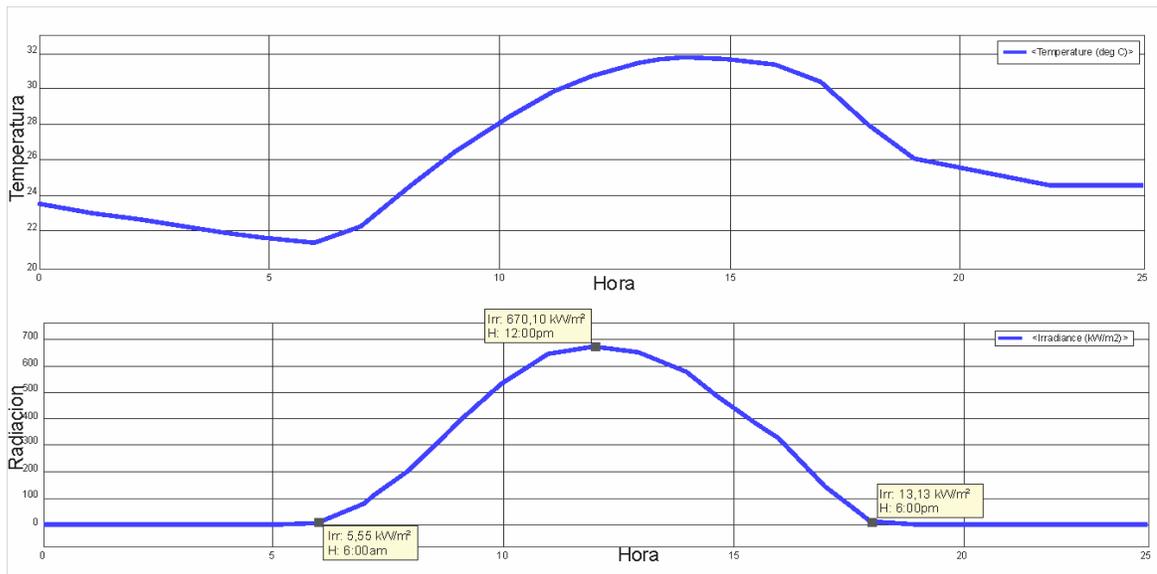
Este sistema fue encargado de simular cargas en AC y DC, con compresores de aire y luminarias que arrojan un total de carga de 7656 Wh / dia. Este sistema está expuesto en la **Figura 2- 14**, simula 10 paneles de 250W y 8 baterías de 150Ah.

Figura 2- 14: Diagrama de conexiones de bloques del sistema fotovoltaico rediseñado



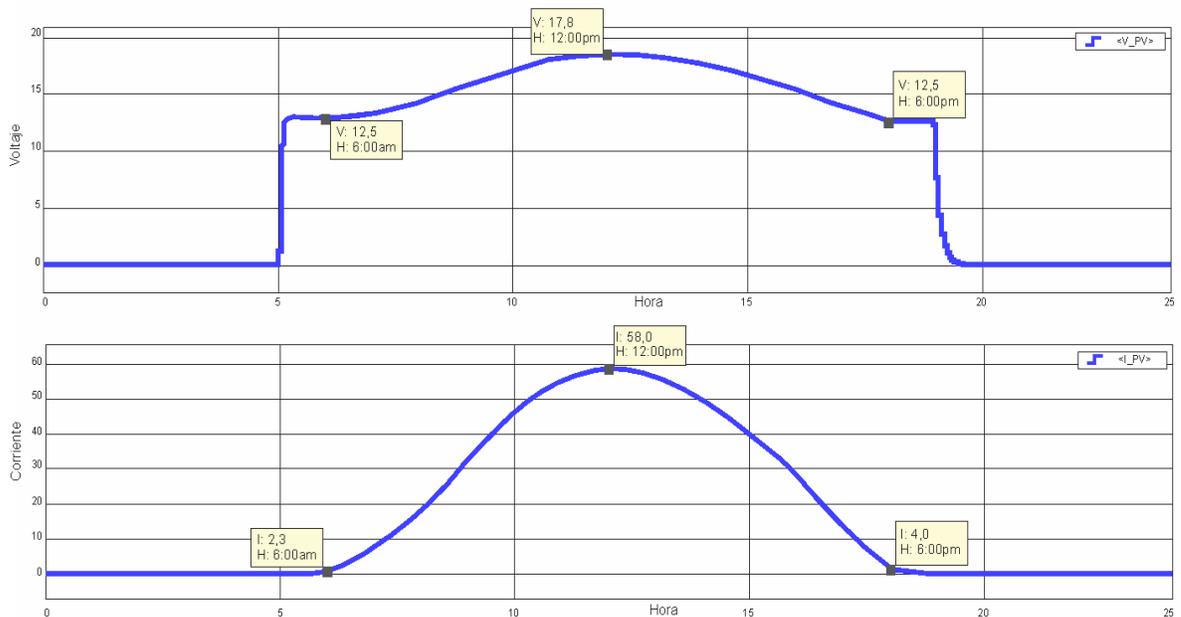
Al implementar la simulación de la **Figura 2- 15**, se tiene como resultado la radiación solar y temperatura recogida durante 24 horas diarias por 6 meses en el bloque PV Array y el voltaje y corriente del escenario expuesto en la **Figura 2- 16**.

**Figura 2- 15:** Radiación y temperatura de 6 meses durante 24 horas diarias



Fuente: Autores

**Figura 2- 16:** Voltaje y corriente del sistema rediseñado

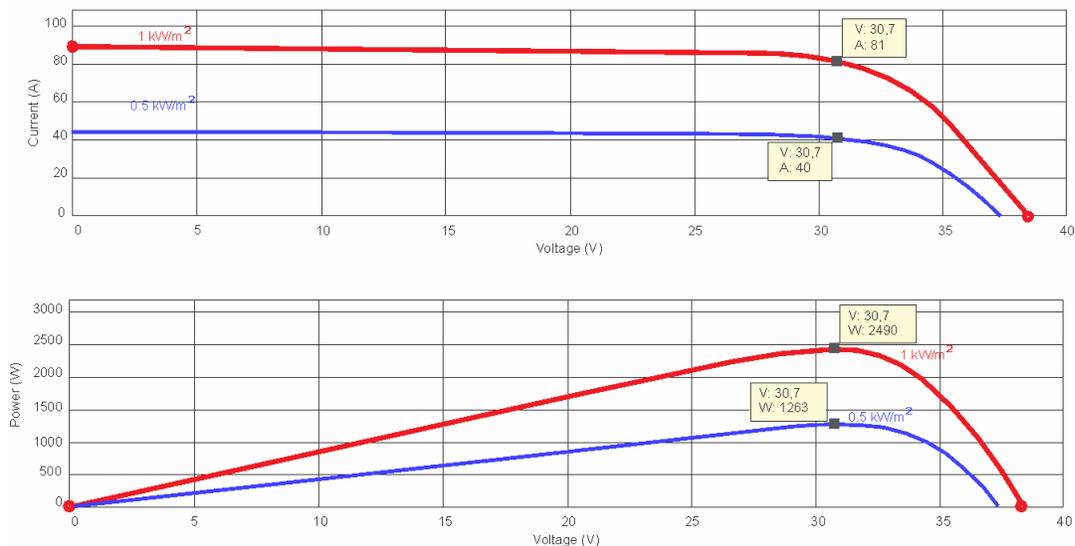


Fuente: Autores

Evidenciando los datos de entrada en el bloque **Signal Builder (Figura 2- 15)** que fueron percibidos en un periodo de 24 horas, empezando con una radiación solar de  $5.5563 \text{ kWh} / \text{m}^2$  en el horario de las 6:00 am, consta con una corriente de  $2.3A$  y  $12.5V$ ; alrededor de las 12:00 p.m. del medio día se alcanzó un punto máximo de radiación con  $670.10 \text{ kWh} / \text{m}^2$  y respuesta de  $17.8V$  y  $58A$  en corriente; durante la tarde 6:00 p.m. se recolectó una radiación solar de  $13.1392 \text{ kWh} / \text{m}^2$ , con voltaje de  $12.5V$  y una corriente de  $4A$ . Por otra parte, la magnitud de la temperatura obtuvo un valor mínimo de  $21.2662^\circ C$  a las 6:00 a.m. y a las 2:00 p.m. con  $31.7066^\circ C$ , ilustrando la **Figura 2- 16**. su valor máximo.

Este escenario cuenta con 10 paneles con conexión en paralelo, mostrando una eficiencia de  $81A$  con  $30.7V$  en una radiación solar de  $1 \text{ kWh} / \text{m}^2$  al simplificarse la radiación solar a  $0.5 \text{ kWh} / \text{m}^2$  se registró una eficiencia de  $40A$  y  $30.7V$ , como se presenta en la **Figura 2- 17**.

**Figura 2- 17:** Eficiencia en conjunto de 10 paneles en paralelo



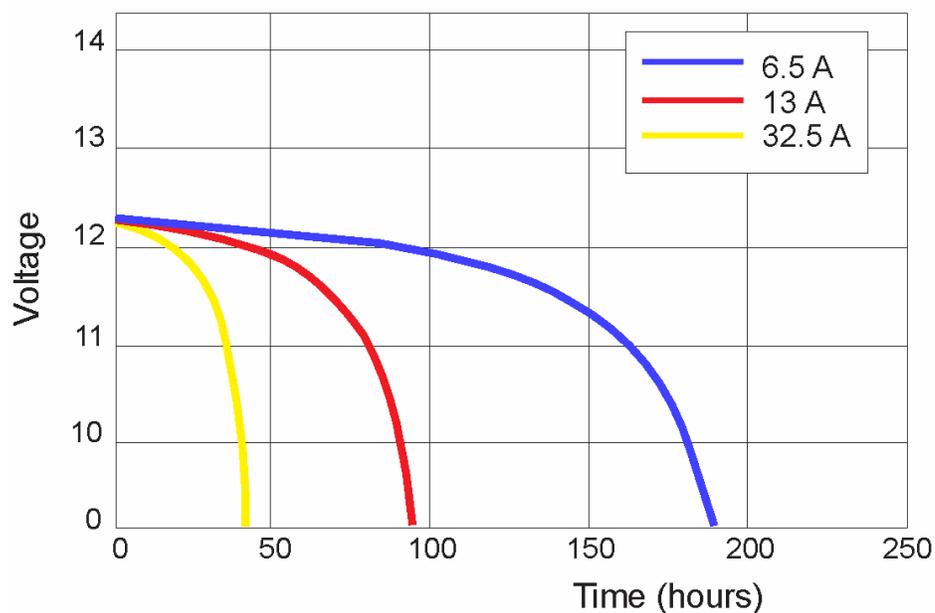
Fuente: Autores

En la **Figura 2- 17** también se informa de la relación potencia (W) – voltaje (V) de acuerdo con los  $\text{kWh} / \text{m}^2$  reportando los picos máximos de corriente. La radiación solar con

1  $kWh/m^2$  arroja una eficiencia de  $2490W$  con  $30.7V$  y reduciendo esta radiación solar a  $0.5 kWh/m^2$  se alcanza  $1263W$  y un voltaje de  $30.7V$ , en el sistema fotovoltaico.

La **Figura 2- 18** presenta el comportamiento de la durabilidad del banco de baterías el cual aumenta notablemente según la corriente trabajada, es decir, cuando hay un consumo de  $6.5Ah$  va tener una duración de 162 horas, igualmente, cuando el consumo es de 13 y  $32.5 Ah$  tienen una durabilidad de 90 y 35 horas respectivamente. Adicionalmente las baterías cuentan con un comportamiento de estado de carga y descarga, conocida por sus siglas *SOC*. En la **Figura 2- 19** se refleja el comportamiento de las baterías usadas en el proyecto durante un tiempo de 24 horas.

**Figura 2- 18:** Durabilidad del banco de baterías sistema rediseñado

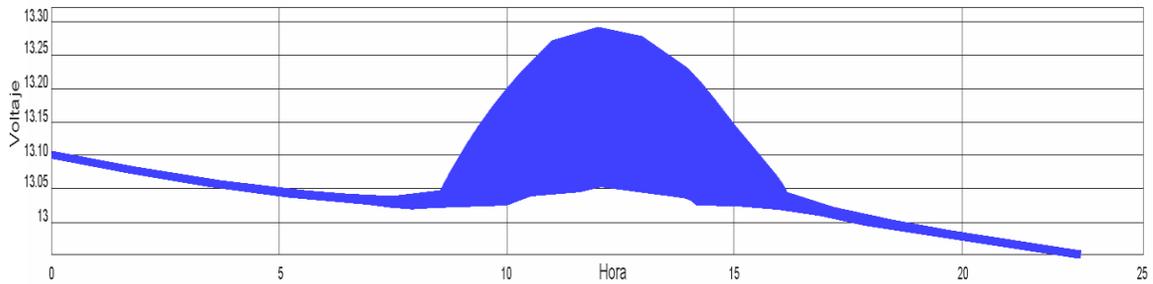


Fuente: Autores

El comportamiento que tienen las baterías con respecto al requerimiento de energía por los actuadores (**Figura 2- 18**) se observó que durante el día se logró la recarga del 100% de las baterías, y al rediseñar el escenario implementado se satisface la necesidad de



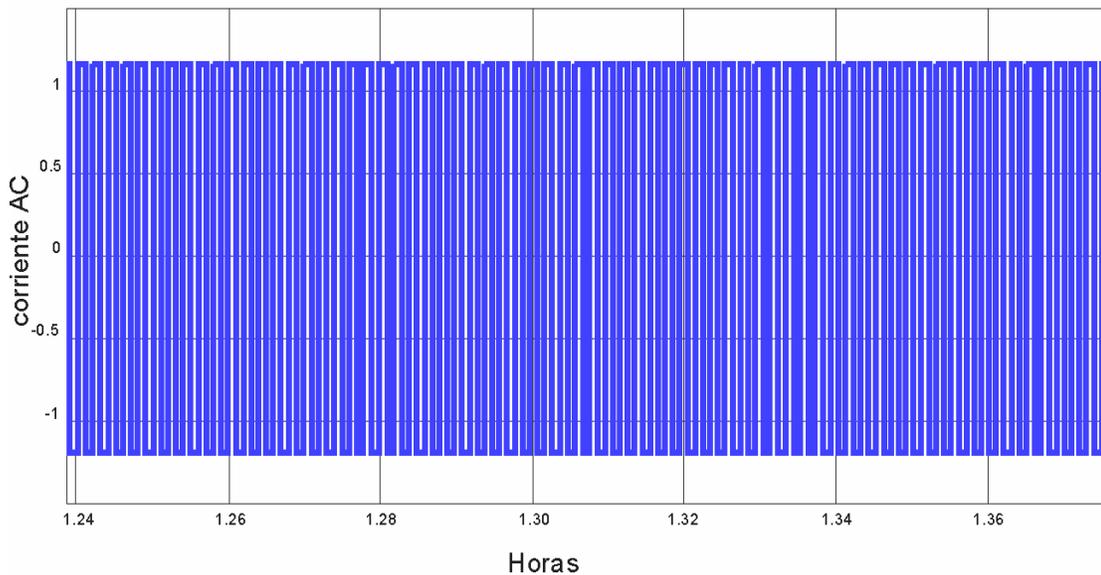
**Figura 2- 21:** Voltaje suministrado por el banco de baterías sistema rediseñado



Fuente: Autores

Teniendo conocimiento de la resistencia AC del presente escenario se logró inferir en el comportamiento del consumo de los elementos, como se justifica en la **Figura 2- 22**, que no alcanza superar los 1.5A.

**Figura 2- 22:** Consumo de los elementos del sistema rediseñado en AC



Fuente: Autores



## 2.5 Instalación del sistema fotovoltaico

Partiendo de los análisis realizados a partir del proceso de caracterización y dimensionado del sistema a través de las simulaciones realizadas se procede a instalar el sistema fotovoltaico en los lagos de geomembrana.

La estructura de este sistema se realizó en forma de bodega con piso de cemento y vigas de guadua, debidamente instaladas, techo de zinc y recubrimiento en lona de hilos trenzados, consiguiendo una impermeabilización al lugar, evitando humedad y daños a materiales eléctricos y electrónicos por vientos fuertes.

Teniendo la estructura correctamente ensamblada se procedió a realizar la instalación de los materiales requeridos en el sistema, como se ilustra en la **Figura 2- 24**, **Figura 2- 25**, y **Figura 2- 26**; comenzando con la ubicación de los paneles solares en el techo de zinc, garantizando la total obtención de la radiación solar a través de ellos.

Por otro lado, los cálculos respectivos del controlador dio como resultado 80A, implementando dos controladores de 50A, garantizando un límite mayor en la corriente de los elementos, para prevenir cualquier pérdida; siguiendo con el proceso, se instaló el inversor de 400W asegurando la corriente necesaria para suplir de energía las luminarias, posteriormente se dispusieron ocho baterías en paralelo avalando el voltaje adecuado a los compresores de aire para su correcto funcionamiento; luego, se tuvo en cuenta el cableado debidamente cubierto y reglamentado demostrando fiabilidad de todas las conexiones entre los elementos. Finalmente se realizó la adecuación a través de mangueras de los compresores de aire a cada una de las geomembranas funcionales de la unidad piscícola, en donde a través de pruebas realizadas en LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS se determinó que el sistema rediseñado dio como resultado un aporte de  $5.24mgO_2/l$  de oxígeno disuelto en las geomembranas siendo mayor al sistema inicial y más eficaz a la producción del cultivo. (**Ver Anexo G**).

**Figura 2- 24:** Conjunto de paneles fotovoltaico instalados



Fuente: Autores

Se observa el conjunto de paneles conectados en paralelo en la superficie del techo de la estructura en la cual se instaló el sistema fotovoltaico finalizado, con un ángulo de inclinación de 10 grados.

Instalación del controlador de carga LEO 20 con sus respectivos fusibles de seguridad para cada entrada de cada panel al controlador, adicionalmente cuenta con un interruptor que permite el paso del suministro eléctrico para la activación de la iluminación y los actuadores **(Ver Figura 2- 25)**.

**Figura 2- 25:** Instalación de los controladores del sistema fotovoltaico

Fuente: Autores

Partiendo de la imagen anterior, el interruptor DC energiza el sistema actuador como se puede observar en la **Figura 2- 25** posteriormente se observa la conexión en conjunto con el sistema acumulador el cual trabaja como respaldo a la necesidad de energía requerida por el sistema fotovoltaico al no ser generada de manera directa, la cual como se observa en la **Figura 2- 26** es requerida por los compresores de aire que trabajan de manera conjunta para la necesidad del proceso piscícola.



Mediante la simulación el escenario implementado el consumo fue de  $7182 \text{ Wh} / \text{dia}$ .

Mediante la simulación se determinó el estado de carga, teniendo en cuenta la carga consumida por los sistemas, obteniendo como respuesta que el sistema convencional logra una recarga en un ciclo de su funcionamiento del 66.6% mientras que el sistema rediseñado logra recargar al 99.9% el sistema acumulador.

Se realizó una prueba de oxígeno disuelto a las geomembranas, realizadas en LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS en donde se obtuvieron los siguientes resultados: Aireación con blower  $4.5 \text{ mgO}_2/\text{l}$  y aireación con compresor de aire Resun MPQ-906  $5.24 \text{ mgO}_2/\text{l}$ .

### **2.6.1 Consumo de corriente medida durante 7 días.**

Después de realizar la instalación del sistema fotovoltaico se procedió a determinar el consumo de corriente total del sistema y de esta manera comprobar que el comportamiento del mismo fuera acorde con el presentado en la simulación, este análisis se realizó utilizando un sensor de efecto Hall ACS712 - 30A para la toma de datos de las muestras, conectado a un arduino que sirvió de interface para el almacenamiento de los datos en una micro SD.

La toma de muestra se realizó durante 7 días del 18 al 24 de noviembre del 2019, cada 90 segundos, durante las 24 horas del día; los 6.720 datos adquiridos fueron representados en la siguiente **Figura 2- 27**.

**Figura 2- 27:** Corriente consumida durante 7 días por 24 horas

Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la grafica el día de mayor consumo fue el sabado con un promedio de 24.052A y el de menor consumo el día domingo con 24.013A, es decir, una variación con un rango de 0,039A del comportamiento del consumo de corriente en el sistema, finalmente se obtiene el consumo promedio del sistema en el transcurso del tiempo de toma muestras con un valor de 24,038A; teniendo en cuenta los datos obtenidos en la **Figura 2- 23** “Consumo del sistema fotovoltaico” suministrada por la simulación el promedio de consumo debería ser de 22,4A, lo que demuestra que entre el valor real y el simulado existe una diferencia de aproximado de 7%, como se muestra en la **Tabla 2- 2** por cada día según el comportamiento del sistema, tener una diferencia de este rango en estos sistemas del comportamiento real al simulado no afecta, era previsible ya que en la simulacion no se tiene en cuenta las características del la red de cableado ni la distancia del actuador a la geomembrana.

**Tabla 2- 2:** Consumo diario durante la toma de muestra del sistema en funcionamiento

Día	Consumo (Ah)	Comportamiento (%)
18/11/2019	24.038	6.81
19/11/2019	24.042	6.83
20/11/2019	24.045	6.84
21/11/2019	24.045	6.84
22/11/2019	24.032	6.7
23/11/2019	24.052	6.9

24/11/2019	24.013	6.71
------------	--------	------

Fuente: Autores

En la **Tabla 2- 3** se puede apreciar el valor diario de radiación durante los 7 días de la toma de muestra del sistema; de acuerdo con el diseño la radiación mínima para mantener el sistema funcional debe ser mayor a  $3.50 \text{ kWh} / \text{m}^2$ , y como se observa en la tabla durante todos los días se supera este parámetro y por lo cual el sistema funcionó de acuerdo con lo esperado.

**Tabla 2- 3:** Comportamiento de la radiación durante la toma de muestra del sistema en funcionamiento

Día	Radiación
18/11/2019	3.6433 $\text{kWh} / \text{m}^2$
19/11/2019	3.7733 $\text{kWh} / \text{m}^2$
20/11/2019	4.5266 $\text{kWh} / \text{m}^2$
21/11/2019	4.0908 $\text{kWh} / \text{m}^2$
22/11/2019	5.2241 $\text{kWh} / \text{m}^2$
23/11/2019	4.7866 $\text{kWh} / \text{m}^2$
24/11/2019	3.5641 $\text{kWh} / \text{m}^2$

Fuente: Autores

En la **Tabla 2- 4** se puede apreciar el valor diario de temperatura durante los 7 días de la toma de muestra del sistema; teniendo en cuenta que se trabajó con paneles solares *JKM250P - 60* y de acuerdo a las especificaciones del fabricante el sistema opera entre el rango óptimo de temperaturas, el cual tuvo un comportamiento que osciló entre los  $25.97^\circ\text{C}$  y  $30.91^\circ\text{C}$ .



## 3. Conclusiones y recomendaciones

### 3.1 Conclusiones

El sistema de oxigenación inicial para las 4 geomembranas que conforman la unidad piscícola proporciona  $4.5 \text{ mgO}_2/\text{l}$  a través de un mecanismo actuador blower, alimentado con  $110\text{V rms}$  suministrados por el sistema interconectado nacional y que tiene un consumo de  $1600\text{Wh}$ .

Se realizó un cambio del elemento actuador generador de oxígeno blower por 4 compresores de aire Resum MPQ – 906, cuyo consumo unitario es de  $120\text{Wh}$ , cumpliendo con el requerimiento de disminución en consumo energético y levantamiento de sedimentos del fondo de la geomembrana al utilizar un sistema de microburbujas, aunado a esto se mejora en un 14.1% las condiciones de oxígeno disuelto presentándose un valor de  $5.24 \text{ mgO}_2/\text{l}$  después de implementado el sistema final.

Se diseñó e implemento un sistema fotovoltaico que consta de 10 paneles de  $250\text{W}$ , un sistema acumulador de 8 baterías de  $150\text{Ah}$ , 2 controladores de carga de  $50\text{A}$  y un inversor de  $400\text{W}$ , que proporcionan una corriente de  $30\text{A}$  manteniendo el sistema en funcionamiento durante 12 horas con una capacidad de recarga del sistema acumulador del 99.9%.

Se comprobó mediante la simulación con la herramienta de Simulink de Matlab que el diseño del sistema fotovoltaico bajo condiciones ideales es ineficiente para satisfacer el requerimiento de 12 horas de autonomía del sistema de oxigenación ya que se evidencia que la recarga de las baterías solo alcanzaría el 66.6% con una descarga máxima en condiciones de no radiación de hasta el 10% lo que de acuerdo a la información proporcionada por el fabricante comprometería la vida útil de las baterías, por el contrario

al tener en cuenta las pérdidas reales del sistema y el comportamiento de las condiciones meteorológicas de radiación y temperatura se obtiene un rediseño que consigue llevar la recarga de las baterías a un 99.9% y la descarga máxima aproximada de 60% garantizando el funcionamiento esperado.

## **3.2 Recomendaciones**

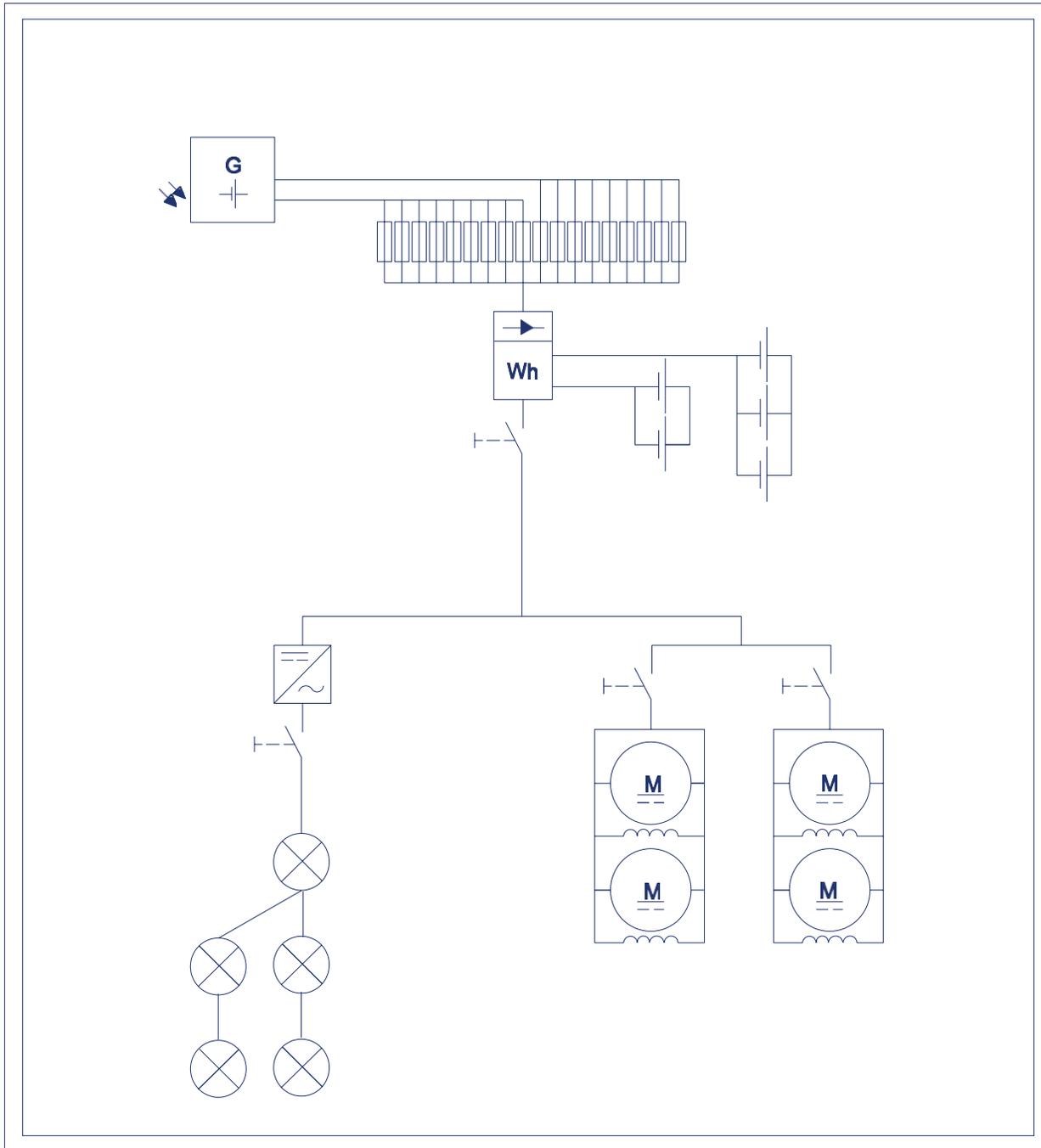
Realizar la implementación de seguidores solares a los paneles para garantizar una mejor absorción de radiación durante el transcurso del día.

Diseñar un sistema de monitoreo constante al banco de baterías capaz de determinar su estado de funcionamiento real para minimizar riesgos en el proceso.

Implementar un sistema de alerta temprana en tiempo real que mediante IoT monitoree las variables pH, temperatura, oxígeno disuelto y demás químicos y genere mensajes de texto para informar de cualquier novedad al encargado de la unidad piscícola.

## **A. Anexo: Planos eléctricos**

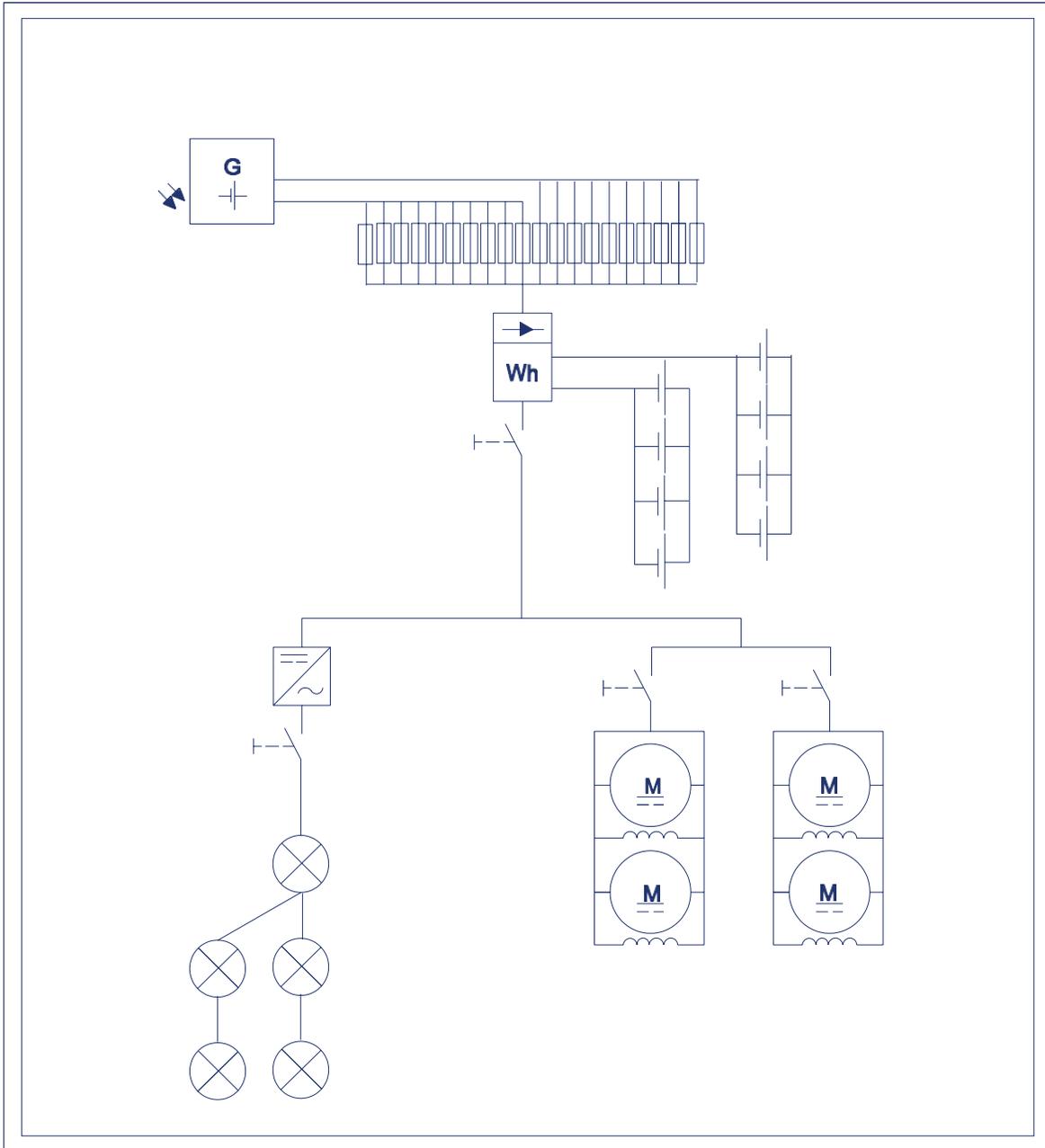
**Plano eléctrico sistema diseñado bajo condiciones ideales.**

**UAN**UNIVERSIDAD  
ANTONIO NARIÑO

IEC 60617

ESTUDIANTES: Daniel Perez Osorio - Andres Felipe Charry Tovar

**Plano eléctrico sistema rediseñado.**



 <p>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</p>	<p>IEC 60617</p>
	<p>ESTUDIANTES: Daniel Perez Osorio - Andres Felipe Charry Tovar</p>

## B. Anexo: Tabla de temperatura

	Temperatura (*C)	Tiempo
<b>Total</b>	23,48468254	12:00:00 a.m.
	23,01277778	1:00:00 a.m.
	22,66055556	2:00:00 a.m.
	22,23305556	3:00:00 a.m.
	21,8559127	4:00:00 a.m.
	21,53138889	5:00:00 a.m.
	21,26626984	6:10:00 a.m.
	22,17619048	7:00:00 a.m.
	24,29440476	8:00:00 a.m.
	26,32920635	9:00:00 a.m.
	28,03884921	10:00:00 a.m.
	29,54880952	11:00:00 a.m.
	30,63940476	12:00:00 p.m.
	31,38531746	1:00:00 p.m.
	31,70662698	2:00:00 p.m.
	31,55361111	3:00:00 p.m.
	31,28380952	4:00:00 p.m.
	30,29686508	5:00:00 p.m.
	27,8806746	6:00:00 p.m.
	25,97873016	7:00:00 p.m.
25,44392857	8:00:00 p.m.	
24,90496032	9:00:00 p.m.	
24,48873016	10:00:00 p.m.	
24,02539683	11:00:00 p.m.	

<b>Comportamiento de temperatura</b>	28,18462
--------------------------------------	----------

## C. Anexo: Tabla de radiación

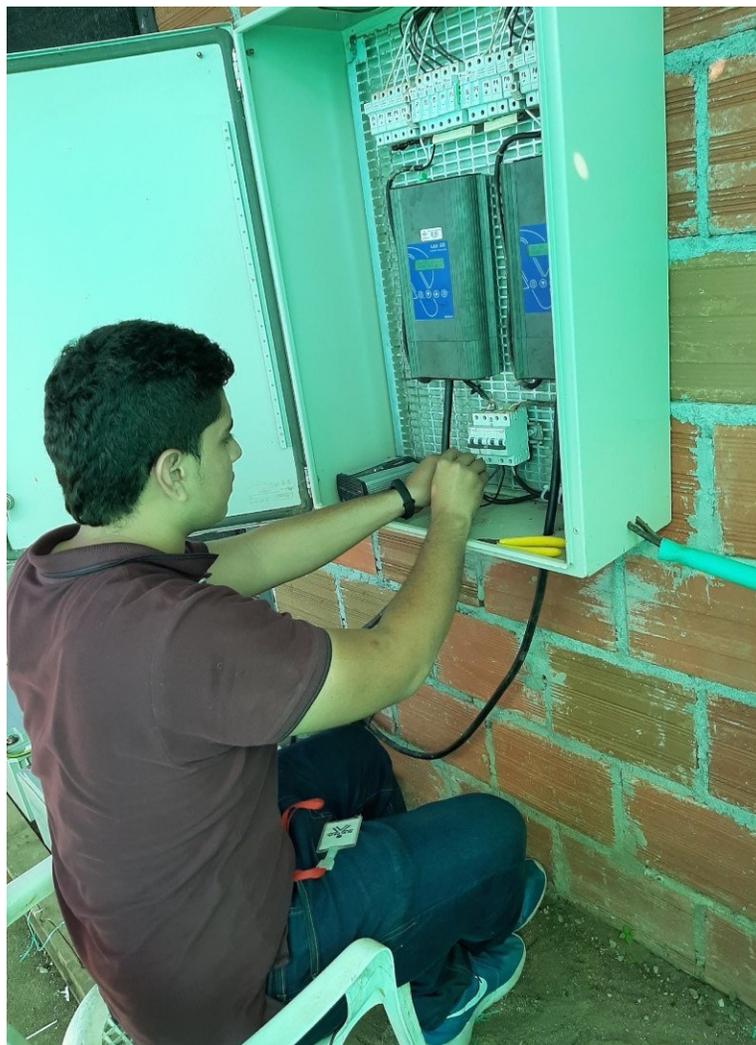
	Radiación Solar (KW/m <sup>2</sup> )	Tiempo
<b>Total</b>	0	12:00:00 a. m.
	0	1:00:00 a. m.
	0	2:00:00 a. m.
	0	3:00:00 a. m.
	0	4:00:00 a. m.
	0	5:00:00 a. m.
	55,56349206	6:10:00 a. m.
	808,9960317	7:00:00 a. m.
	2057,531746	8:00:00 a. m.
	3781,900794	9:00:00 a. m.
	5311,916667	10:00:00 a. m.
	6431,944444	11:00:00 a. m.
	6701,06746	12:00:00 p. m.
	6461,52381	1:00:00 p. m.
	5741,670635	2:00:00 p. m.
	4413,424603	3:00:00 p. m.
	3243,531746	4:00:00 p. m.
	1459,599206	5:00:00 p. m.
	131,3928571	6:00:00 p. m.
	0	7:00:00 p. m.
0	8:00:00 p. m.	
0	9:00:00 p. m.	
0	10:00:00 p. m.	
0	11:00:00 p. m.	

<b>Comportamiento de radiación</b>	3584,620269 W/m <sup>2</sup>	3,584620269 KW/ m <sup>2</sup>
------------------------------------	------------------------------	--------------------------------------



## D. Anexo: Instalación sistema fotovoltaico

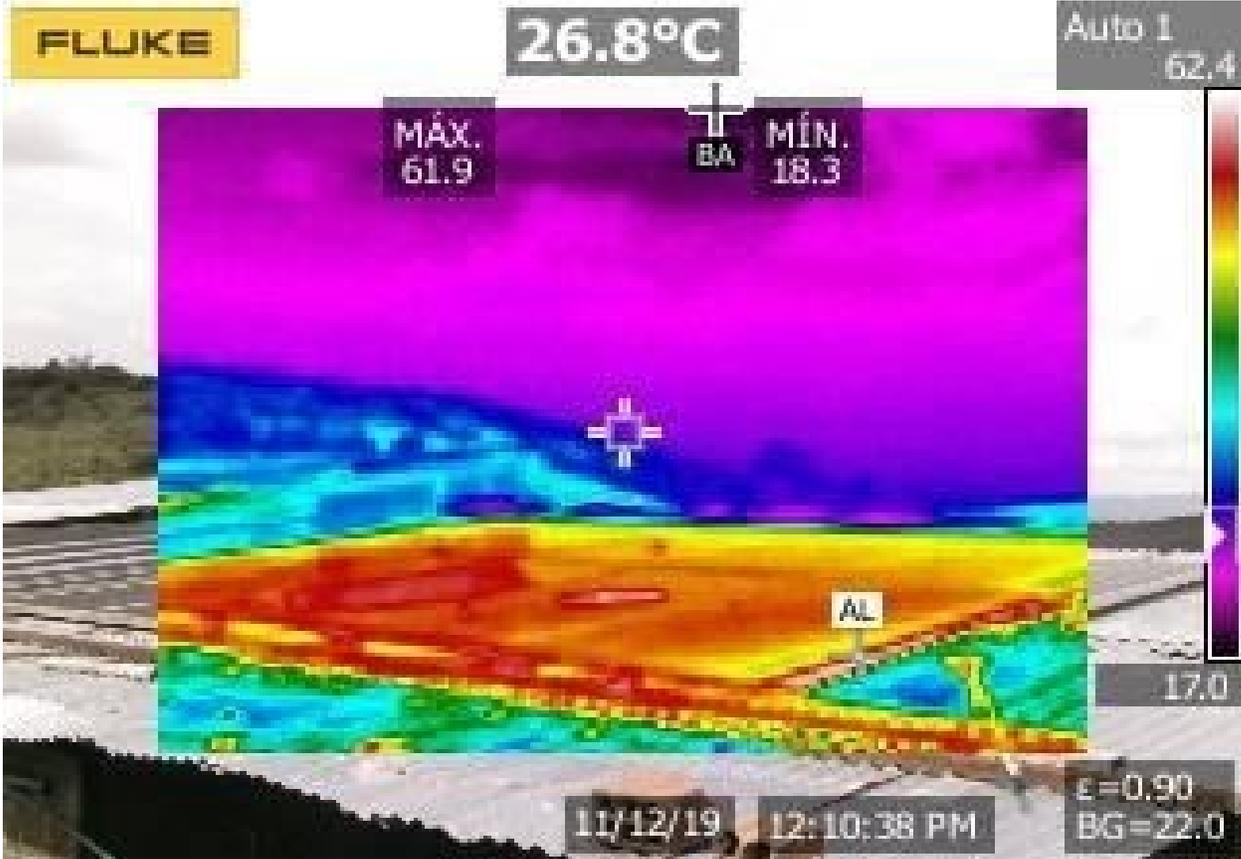


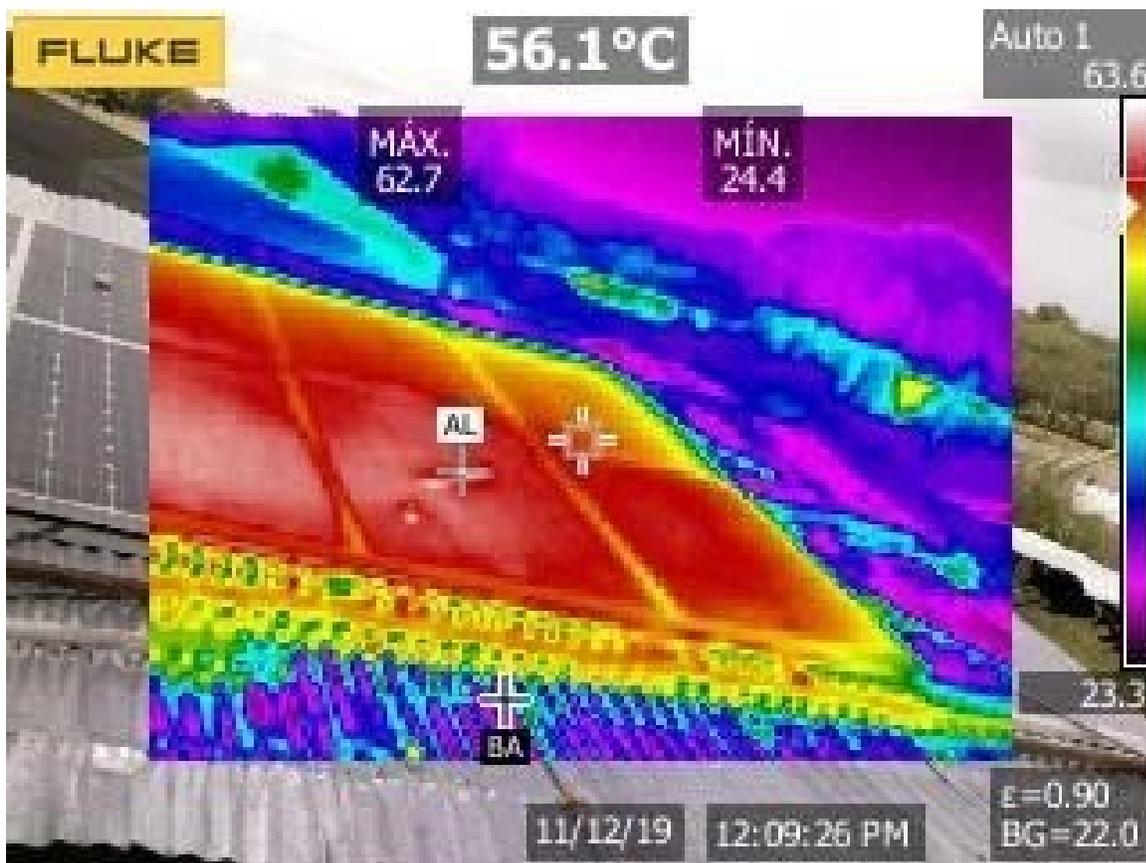


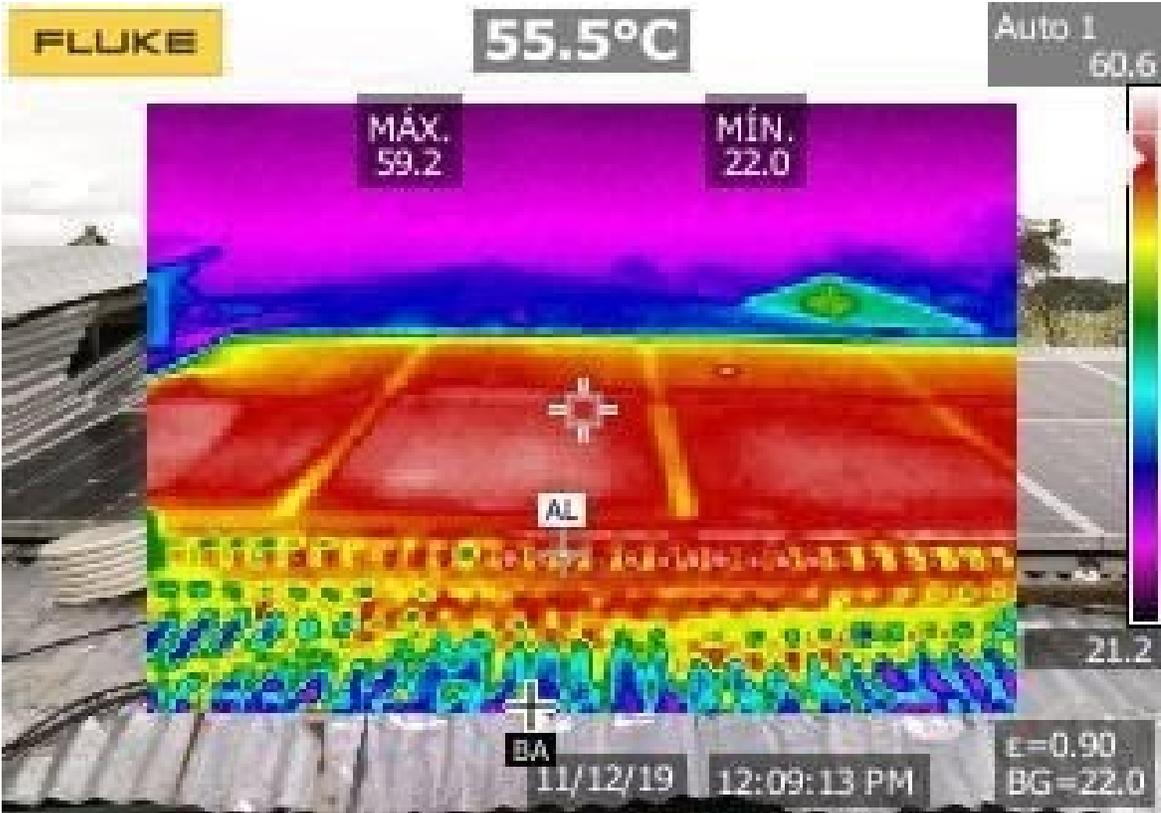




# E. Anexo: Cámara térmica

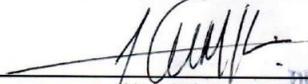
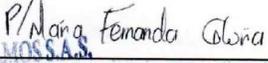








# F. Anexo: Prueba de oxígeno Laboratorio Diagnosticamos SAS blower

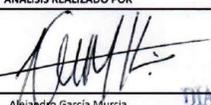
LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS		DIVISION AMBIENTAL		NIT 800.179.073-9		Carrera 11 N° 7-45, Neiva - Huila		Teléfonos 8714977 - 8717909 ext. 303, Celular 3204124326		E-mail: comercial@diagnosticamos.com. Web: www.diagnosticamos.com	
											
REPORTE DE RESULTADOS No	19522			FECHA DE EMISIÓN			2020-SEP-28				
<b>DATOS DEL CUENTE</b>											
NOMBRE	ANDRÉS FELIPE CHARRY			DIRECCIÓN			SENA ANGOSTURA				
CONTACTO	ANDRÉS FELIPE CHARRY			TELÉFONO			3102889275				
<b>INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>											
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			AGUA SUPERFICIAL				
MUESTRA TOMADA POR	CUENTE			RADICADO INTERNO			19522				
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA			FECHA DE TOMA			2020-SEP-25				
PROCEDIMIENTO MUESTREO	NO APLICA			FECHA DE RECEPCIÓN			2020-SEP-25				
FUENTE DE MUESTREO	RIONENA LA ANGOSTURA			COORDENADAS							
LUGAR DE MUESTREO	GEOMEMBRANA 2			PUNTO DE MUESTREO			DLOWER				
OTROS ¿Cuales?	NO REPORTA										
CONV	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	LÍMITE DE REPORTE	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO			
a.	OXÍGENO DISUELTO	ASTM D888 METODO C	mg O2/L	4.50	NO APLICA	2020-SEP-25	NO APLICA	NO APLICA			
<b>OBSERVACION</b>											
nota 1: Analisis solicitados por el cliente											
<b>INFORMACION IMPORTANTE</b>											
1. El término (a) aplica para parámetros acreditados por el IDEAM según resolución 0441 del 7 de junio de 2020 para aguas crudas y residuales. 2. El término (a) aplica para parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 1562 del 2017, 2593 de 2017 y 1557 de 2018 para aguas crudas y residuales. 3. El Laboratorio Diagnosticamos SAS no es responsable por los datos reportados cuando la información es proporcionada por el cliente. En caso de que la muestra sea suministrada por el cliente, los resultados aplican a la muestra como se recibió. 4. El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados. 5. En los parámetros microbiológicos, cuando el resultado reportado es cero indica la ausencia de microorganismos en la muestra.											
<b>ANÁLISIS REALIZADO POR</b>						<b>ANÁLISIS SUPERVISADOS POR</b>					
 Alejandro García Murcia Jefe Técnico Físicoquímico						 Pedro María Zuñiga Camacho Director					



# G. Anexo: Prueba de oxígeno

## Laboratorio Diagnosticamos SAS

### Compresor de aire Resum MPQ - 906

LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS		DIVISION AMBIENTAL		NIT 600.179.073-9		 <small>           INSTITUTO COLOMBIANO DE            ESTANDARIZACIÓN Y            NORMALIZACIÓN            LABORATORIO ACREDITADO            NIT 600.179.073-9         </small>		
		Cámara 11 N° 7-45, Navea - Haila, Teléfonos 8714977 - 8717909 ext. 303, Celular 3204124326 E-mail: comercial@diagnosticamos.com Web: www.diagnosticamos.com						
REPORTE DE RESULTADOS No	19521	FECHA DE EMISIÓN	2020-SEP-28					
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>								
NOMBRE	ANDRES FELIPE CHARRY	DIRECCIÓN	SENA ANGOSTURA					
CONTACTO	ANDRES FELIPE CHARRY	TELÉFONO	3102889275					
<b>INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>								
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	AGUA SUPERFICIAL					
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE	RADICADO INTERNO	19521					
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE TOMA	2020-SEP-25					
PROCEDIMIENTO MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE RECEPCIÓN	2020-SEP-25					
FUENTE DE MUESTREO	RIO NENA LA ANGOSTURA	COORDENADAS						
LUGAR DE MUESTREO	GEOMEMBRANA 1	PUNTO DE MUESTREO	AIREADORES					
OTROS ¿Cuales?	NO REPORTA							
CONV	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	LÍMITE DE REPORTE	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
a.	OXÍGENO DISUELTUO	ASTM D888 METODO C	mg O2/L	5.24	NO APLICA	2020-SEP-25	NO APLICA	NO APLICA
<b>OBSERVACION</b>								
nota 1: Analisis solicitados por el cliente								
<b>INFORMACION IMPORTANTE</b>								
1. El termino (a) aplica para parámetros acreditados por el IDEAM según resolución 0441 del 7 de junio de 2020 para aguas crudas y residuales. 2. El termino (a) aplica para parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 1562 del 2017, 2593 de 2017 y 1557 de 2018 para aguas crudas y residuales. 3. El Laboratorio Diagnosticamos SAS no es responsable por lo datos reportados cuando la informacion es proporcionada por el cliente. En caso de que la muestra sea suministrada por el cliente, los resultados aplican a la muestra como se recibio. 4. El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados. 5. En los parámetros microbiológicos, cuando el resultado reportado es cero indica la ausencia de microorganismos en la muestra.								
<b>ANÁLISIS REALIZADO POR</b>					<b>ANÁLISIS SUPERVISADOS POR</b>			
 Alejandro Garcia Murcia Líder Técnico Físicoquímico					 Pedro María Zufiga Camacho Director			



# H. Anexo: Datasheet del panel solar JKM265P-60



## Principales características

-  Alta eficiencia (hasta un 16,19%) gracias a una tecnología de fabricación superior y un diseño optimizado
-  El recubrimiento antirreflejante optimiza la absorción de la luz y reduce el polvo superficial
-  Excelente rendimiento en un entorno de baja irradiación lumínica
-  El módulo en conjunto cuenta con una elevada resistencia certificada al viento (2400 Pa) y a la nieve (5400 Pa)
-  Alta resistencia a la niebla salina y al amoníaco

## CALIDAD Y SEGURIDAD

- Tolerancia positiva 0/+3% \*
- Garantía de producto de 10 años (material y mano de obra) \*
- Garantía de potencia (12 años al 90%, 25 años al 80%)
- Garantía de degradación lineal \*

### Garantía de degradación de primera categoría



\* Según las necesidades del cliente y las condiciones contractuales

Fábrica con certificación ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001  
 Productos con certificación IEC61215, IEC61730, IEC61701, IEC62716



# I. Anexo: Datasheet batería Magna 150- 12v



## LPF SERIES-Front Terminal

### LPF12-150A (12V150AH)



Specification		
Nominal Voltage	12V	
Nominal Capacity(10HR)	150AH	
Dimension	Length	551 ±3mm (21.69 inches)
	Width	110 ±2mm (4.33 inches)
	Container Height	287 ±3mm (11.30 inches)
	Total Height (with Terminal)	287 ±3mm (11.30 inches)
Approx Weight	Approx 46.4 Kg (102.3 lbs)	
Terminal	T6	
Container Material	ABS	
Rated Capacity	158.8AH/7.94A	(20hr, 1.80V/cell, 25 °C/77°F)
	150.0AH/15.0A	(10hr, 1.80V/cell, 25 °C/77°F)
	142.4AH/17.8A	(8hr, 1.80V/cell, 25 °C/77°F)
	130.5AH/26.1A	(5hr, 1.75V/cell, 25 °C/77°F)
	95.9AH/95.9A	(1hr, 1.67V/cell, 25 °C/77°F)
Max. Discharge Current	1200A (5s)	
Internal Resistance	Approx 3.0m Ω	
Operating Temp. Range	Discharge	-15 ~50°C (5 ~122°F)
	Charge	0 ~40°C (32 ~104°F)
	Storage	-15 ~40°C (5 ~104°F)
Nominal Operating Temp. Range	25 ±3°C (77 ±5°F)	
Cycle Use	Initial Charging Current less than 45.0A. Voltage 14.4V~15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C	
Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V~13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C	
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%
	25°C (77°F)	100%
	0°C (32°F)	86%
Self Discharge	Leoch LPF series batteries may be stored for up to 6 months at 25°C (77°F) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

#### Applications

- ◆ For standard 19 inches or 23 inches power cabinets
- ◆ Network connection equipment of communication system
- ◆ Power system of special network or local area network
- ◆ UPS, standby power supply
- ◆ Power station systems
- ◆ Railway and marine systems

VdS

Intertek ETL SEMKO

UL

ISO14001

ISO9001

CE

EMC

#### Constant Current Discharge (Amperes) at 25 °C (77°F)

F.V/Time	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	216.9	190.8	171.0	136.8	105.8	85.7	50.9	37.3	29.9	25.1	21.7	17.2	14.3	7.60
1.80V/cell	252.0	220.2	190.8	148.5	112.6	90.6	52.7	38.6	30.8	25.8	22.3	17.8	15.0	7.94
1.75V/cell	278.1	237.0	203.4	154.8	115.8	93.0	53.9	39.2	31.2	26.1	22.6	18.1	15.2	8.02
1.70V/cell	296.1	248.4	211.5	160.5	118.8	94.5	54.7	39.7	31.6	26.4	22.9	18.3	15.3	8.07
1.67V/cell	309.6	256.8	216.0	163.8	121.0	95.9	55.4	40.1	31.9	26.7	23.1	18.5	15.5	8.12
1.60V/cell	323.1	264.0	222.3	167.4	123.4	97.5	56.1	40.6	32.2	27.1	23.5	18.7	15.6	8.16

#### Constant Power Discharge (Watts/cell) at 25 °C (77°F)

F.V/Time	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	405.0	359.8	325.8	263.5	205.5	166.9	99.9	73.4	59.0	49.6	43.0	34.4	28.7	15.2
1.80V/cell	465.1	409.8	358.2	281.7	217.0	175.6	102.8	75.6	60.5	50.8	44.0	35.5	29.9	15.9
1.75V/cell	505.1	435.7	378.2	291.2	221.1	179.5	104.7	76.5	61.1	51.3	44.5	35.9	30.2	16.0
1.70V/cell	525.7	450.3	390.4	300.3	226.0	181.8	105.9	77.4	61.8	51.6	45.0	36.3	30.5	16.1
1.67V/cell	547.6	463.7	397.1	305.8	229.4	183.9	107.2	77.9	62.3	52.3	45.3	36.6	30.8	16.2
1.60V/cell	555.7	467.2	402.9	308.5	231.4	185.3	107.6	78.3	62.5	52.8	45.9	36.9	31.0	16.2

## Bibliografía

- Akiko, T., Palfree, R. G. E., & Forsdyke, D. R. (1982). Role of serum in inhibition of cultured lymphocytes by lysophosphatidylcholine. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)/Lipids and Lipid Metabolism*, 710(1), 87–98. [https://doi.org/10.1016/0005-2760\(82\)90194-1](https://doi.org/10.1016/0005-2760(82)90194-1)
- Alfonso, L., & Sevilla, R. (2010). *Diseño e implementación de un sistema de mezcla para inyección de gas en motores de combustión interna a diesel*. QUITO/EPN/2010.
- Alonso Abella, M. (2011). *Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos autónomos*. 15.
- Alonso Lorenzo, J. A. (n.d.). *Instalación Fotovoltaica Aislada*. 2006.
- Antonanzas, J., Perpignan-Lamigueiro, O., Urraca, R., & Antonanzas-Torres, F. (2020). Influence of electricity market structures on deterministic solar forecasting verification. *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.017>
- Barajas, D. P., Ortiz, A. R., Rueda, F., Cárdenas, D., & Hernández, J. W. (2018). *Valoración de un Sistema de Oxigenación por Vórtice y Complementaria para Piscicultura*.
- Baselga Carreras, M. (2019). *Módulos fotovoltaicos (ISF)*.
- Blange, R., Mahanta, C., & Gogoi, A. K. (2016, July). MPPT of solar photovoltaic cell using perturb & observe and fuzzy logic controller algorithm for buck-boost DC-DC converter. *2015 International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth, ICEPE 2015*. <https://doi.org/10.1109/EPETSG.2015.7510125>
- Camacho, J. (2016). *Mal uso de dispositivos médicos: enemigo invisible de las instituciones de salud*.
- Cardozo Sarmiento, D. O. (2018). *Simulación de un Sistema Fotovoltaico Aislado en Matlab/Simulink*.
- Chilundo, R. J., Maúre, G. A., & Mahanjane, U. S. (2019). Dynamic mathematical model design of photovoltaic water pumping systems for horticultural crops irrigation: A

- guide to electrical energy potential assessment for increase access to electrical energy. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117878.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117878>
- da Silva Neto, D. T., dos Santos, A. M., Alves, J. F., Arduini, F. R., & Santos, P. A. (2019). Modeling a photovoltaic panel with the algorithm incremental conductance to maximize efficiency using matlab/simulink © Software. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 140, 361–369. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16053-1\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16053-1_35)
- El Chaar, L., Lamont, L. A., & El Zein, N. (2011). Review of photovoltaic technologies. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 15, Issue 5, pp. 2165–2175). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.004>
- Francisco, A. (2003). *Norma IEC 60617/EN 60617*.
- Gallego Landera, Y. A. (2018). *Analysis of the implementation of a photovoltaic park at the central University of las Villas*.
- García Villas, M., & Arribas, L. (1999). *Energía Solar Fotovoltaica y Cooperación Al Desarrollo*.
- Germán, S., & Castejón, A. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*.
- Haisch, T., Ji, H., & Weidlich, C. (2020). Monitoring the state of charge of all-vanadium redox flow batteries to identify crossover of electrolyte. *Electrochimica Acta*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135573>
- Huila, D. D. E. L. (2019). *Para El Sector Agropecuaria Para El. 8*.
- Ivan Cowie. (2014). *All About Batteries, Part 3: Lead-Acid Batteries | EE Times*. EE Times.  
[https://web.archive.org/web/20160326022624/http://www.eetimes.com/author.asp?section\\_id=36&doc\\_id=1320644&pidl\\_msgpage=2#msgs](https://web.archive.org/web/20160326022624/http://www.eetimes.com/author.asp?section_id=36&doc_id=1320644&pidl_msgpage=2#msgs)
- Khuntia, S., Majumder, S. K., & Ghosh, P. (2012). Microbubble-aided water and wastewater purification: A review. In *Reviews in Chemical Engineering* (Vol. 28, Issues 4–6, pp. 191–221). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/revce-2012-0007>
- Liu, W., Liu, L., Guan, C., Zhang, F., Li, M., Lv, H., Yao, P., & Ingenhoff, J. (2018). A novel agricultural photovoltaic system based on solar spectrum separation. *Solar Energy*, 162, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.12.053>
- Luis Carlos Trujillo Narváez, Cristian Eduardo Chala Céspedes, Gustavo Adolfo Perdomo Gómez, D. A. M. (2018). *ANÁLISIS DEL CONTROL DE OXÍGENO DISUELTO EN CULTIVO DE TILAPIA CON MONITOREO REMOTO* (p. 1).

- Luo, S., Chen, B., & Shi, M. (2020). Development of fast simulation models of photovoltaic generation system based on MATLAB. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 467(1), 012091. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/467/1/012091>
- Lyden, A., Pepper, R., & Tuohy, P. G. (2018). A modelling tool selection process for planning of community scale energy systems including storage and demand side management. *Sustainable Cities and Society*, 39, 674–688. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.003>
- Matlab. (2006). *Create and generate interchangeable groups of signals whose waveforms are piecewise linear - Simulink.*
- Matlab. (2015). *Implement PV array modules - Simulink.*
- Mejía, D., Torres Chávez, I., & Díaz, J. L. (2014). *El Hombre y la Máquina.*
- Neira Marciales, L. (2018). *MinAgricultura registró en Colombia 120.230 toneladas de producción piscícola.*
- Ortiz, J. (2013). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala. *Visión Electrónica*, 1, 103–117. <https://doi.org/10.14483/22484728.3858>
- Padilla, R., & Mauricio, B. (2018). *Análisis de la producción de hidrogeno a partir de energía solar fotovoltaica.*
- Posedly, P. E. (2008). Modeling and Analysis of Photovoltaic Generation and Storage Systems for Residential Use. *Undefined.*
- Ramírez, C. F., Corral, C. P., Caberta, R. Ñ., García, L. A., & Hernández, M. M. (2016). Culcyt // Sustentabilidad Dimensionado de una estación para carga de dispositivos móviles a base de energía solar fotovoltaica Resumen Introducción Metodología. *Cultura Científica y Tecnológica.*, 13(S1), 265–272.
- Sánchez Rodríguez, O. (2014). *Modelo Simulink en sfuncion de un sistema fotovoltaico compuesto por un simulador de sol, panel y conversor.*
- Sarkar Jawhar, M. S. (2017). The Impact of Tilt Angle on Photovoltaic Panel Output. *ZANCO JOURNAL OF PURE AND APPLIED SCIENCES*, 29(5). <https://doi.org/10.21271/zjpas.29.5.12>
- Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2007). *Decreto 2331 de 2007 Nivel Nacional.*
- Suresh, R., Kumar Tanneru, H., & Rengaswamy, R. (2016). Modeling of rechargeable batteries. In *Current Opinion in Chemical Engineering* (Vol. 13, pp. 63–74). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2016.08.005>

- Tang, Z., Wang, J., Mao, X. xian, Shao, H., Chen, Q., Xu, Z., & Zhang, J. (2007). Investigation and application of polysiloxane-based gel electrolyte in valve-regulated lead-acid battery. *Journal of Power Sources*, 168(1 SPEC. ISS.), 49–57.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.12.031>
- V, B. S., & S, S. W. (2015). Solar photovoltaic water pumping system for irrigation: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 10(22), 2267–2273.  
<https://doi.org/10.5897/ajar2015.9879>
- Villafuerte Vega, S. N. (2014). *Evaluación del efecto de la temperatura en el desarrollo de la tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus) en etapa juvenil y determinación del costo de su producción*. 1–45.

