

**ESTUDIO DE CASO SOBRE LA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE
GENERACIÓN FOTOVOLTAICOS EN CULTIVOS DE PISCICULTURA
INTENSIVA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

WILSON ENRIQUE TABARES PORRAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

**ESTUDIO DE CASO SOBRE LA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE
GENERACIÓN FOTOVOLTAICOS EN CULTIVOS DE PISCICULTURA
INTENSIVA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

WILSON ENRIQUE TABARES PORRAS

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero electricista

Director

PhD. CÉSAR ANTONIO DUARTE GUALDRÓN

Codirector

PhD. JUAN DAVID BASTIDAS RODRÍGUEZ

MIE. MANUEL JOSÉ ORTIZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	16
1.1 JUSTIFICACIÓN.	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	17
1.3 OBJETIVOS.	18
1.3.1 General.	18
1.3.2 Específicos.	18
2. MARCO TEÓRICO.	20
2.1 PISCICULTURA.	20
2.2 PISCICULTURA EN COLOMBIA.	20
2.3 CULTIVO DE PISCICULTURA.	22
2.3.1 Tipo de sistema de producción	25
2.4 EQUIPOS PARA SISTEMA DE PRODUCCIÓN INTENSIVO.	26
2.5 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.	29
2.6 POTENCIAL ENERGÉTICO.	30
2.7 ELEMENTOS DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.	32
2.7.1 Panel solar fotovoltaico	32
2.7.2 Celdas fotovoltaicas	32
2.7.2.1 Tipo de paneles	34

2.7.3 Baterías	35
2.7.3.1 Características generales de las baterías	36
2.7.3.2 Tipo de baterías.	38
2.7.5 Inversores	40
2.8 HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN.	41
3. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.	48
3.1 DETERMINACIÓN DE FASES.	48
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	56
4.1 CASO DE ESTUDIO.	56
4.1.1 Metodología de dimensionamiento de la demanda eléctrica de un tipo de cultivo intensivo de piscicultura	57
4.1.2 Determinación del potencial solar fotovoltaico	62
4.1.3 Dimensionamiento de los componentes del sistema de generación fotovoltaico	63
4.1.4 Determinación del sistema de respaldo de energía eléctrica para el caso estudio	75
4.1.5 Análisis de costo de inversión y tiempo de recuperación para el sistema integrado de generación de energía eléctrica para el caso en estudio	76
5. CONCLUSIONES	86
6. RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS DE GRADO	88
REFERENCIAS.	89
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	95

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Parámetros generales de la calidad del agua.	24
Tabla 2: Especies apropiadas para comercialización.	25
Tabla 3: Tipos de sistemas de producción.	26
Tabla 4: Equipos de aireación método liquido-gas.	28
Tabla 5: Equipos de aireación método gas-liquido.	29
Tabla 6: Características de los paneles solares.	34
Tabla 7: Características PVsyst.	43
Tabla 8: Características software SAM.	43
Tabla 9: Características de la herramienta de simulación Homer.	47
Tabla 10: Etapa final de la especie.	58
Tabla 11: Potencial solar zona de estudio datos con estación en sitio.	63
Tabla 12: Parámetro de equipos.	65
Tabla 13: Variables de sensibilidad	67
Tabla 14: Resumen de resultados red y generador diésel.	69
Tabla 15: Resumen de resultados red, sistema fotovoltaico y generador diésel. ..	71
Tabla 16: Resumen de resultados en configuración red, sistema fotovoltaico, generador diésel y baterías.	72
Tabla 17: Resumen de resultados en configuración red, sistema fotovoltaico y baterías.	74
Tabla 18: Tabla comparativa de las configuraciones.	75
Tabla 19: Costo de suministro e instalación de equipos.	77
Tabla 20: Costos anuales de la red y el generador diésel.	78
Tabla 21: Ingresos anuales del generador diésel.	78
Tabla 22: Costos de suministro e instalación de los equipos.	79

Tabla 23: Costos anuales del sistema red, sistema fotovoltaico y generador diésel.	79
Tabla 24: Ingresos anuales del sistema fotovoltaico y el generador diésel.	79
Tabla 25: Costos de suministro e instalación de los equipos.....	81
Tabla 26: Costos anuales del sistema red, sistema fotovoltaico generador diésel y baterías.....	81
Tabla 27: Ingresos anuales del sistema fotovoltaico, generador diésel.....	81
Tabla 28: Costos de suministro e instalación de equipos.	83
Tabla 29: Costos anuales por concepto del sistema red, sistema fotovoltaico y baterías.....	83
Tabla 30: Ingresos anuales del sistema de generación fotovoltaica.	83
Tabla 31. Resumen de costos e ingresos del caso base.....	84

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1: Entidades y Organizaciones que se relacionan con la acuicultura en Colombia.....	22
Figura 2: Cultivo de Piscicultura.....	23
Figura 3: Estanque en geomembrana.....	27
Figura 4: Sistema solar fotovoltaico.	30
Figura 5: Radiación solar directa, difusa y reflejada	31
Figura 6: Proceso de elaboración de las celdas	33
Figura 7: Curva característica de una celda solar.....	34
Figura 8: Partes constructivas de una batería.	36
Figura 9: Partes constructivas de una batería.	39
Figura 10: Diagrama de bloques de un inversor conectado a un sistema autónomo de generación fotovoltaica	40
Figura 11: Clasificación de los inversores.....	41
Figura 12: Ventana principal de HOMER.....	45
Figura 13: Metodología para la estimación de la demanda eléctrica de un cultivo intensivo de piscicultura.....	49
Figura 14: Método para determinar el potencial solar fotovoltaico del departamento de Santander.	51
Figura 15: Método de dimensionamiento de los componentes de un sistema de generación fotovoltaico.	53
Figura 16: Esquema del caso de estudio.....	57
Figura 17: Perfil de carga sistema de aireación.....	58
Figura 18: Perfil de carga equipo de refrigeración.	59
Figura 19: Perfil característico de la carga para la iluminación del cultivo.	60
Figura 20: Perfil de carga proceso de recambio de agua.	60

Figura 21: Perfil de carga total.	61
Figura 22: Configuración red y generador diésel.	68
Figura 23: Resultado de simulación con red y respaldo diésel.	69
Figura 24: Configuración red, sistema fotovoltaico y generador diésel.....	70
Figura 25: Resultados configuración red, sistema fotovoltaico y generador diésel.	70
Figura 26: Esquema de configuración de red, sistema fotovoltaico y baterías	72
Figura 27: Resultados de simulación configuración red, sistema fotovoltaico, generador diésel y baterías.	72
Figura 28: configuración red, sistema fotovoltaico y baterías.	73
Figura 29: Resultado simulación red, sistema fotovoltaico y baterías.....	74
Figura 30: Flujo de efectivo de la red y el generador diésel.....	78
Figura 31: Flujo de efectivo obtenido de la red, sistema fotovoltaico y generador diésel.	80
Figura 32: Flujo de efectivo de la configuración red, sistema fotovoltaico, generador diésel y baterías	82
Figura 33: Flujo de efectivo de la configuración red, sistema fotovoltaico y baterías.....	84

ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Selección de los equipos para el proceso de aireación.....	95
Anexo B: Selección del equipo de refrigeración.....	97
Anexo C: Selección del equipo de Iluminación para el cultivo.	98
Anexo D: Selección del equipo para el recambio de agua.....	99
Anexo E: Perfil diario de radiación promedio de la zona de estudio.	102
Anexo F: Validación metodología y cuestionarios.....	104
Anexo G: Caracterización de equipos por precio.....	113
Anexo H: Caracterización de componentes ingresados a la herramienta de simulación Homer.	116
Anexo I: Análisis técnico y económico de la configuración red y sistema fotovoltaico.....	121

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE CASO SOBRE LA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICOS EN CULTIVOS DE PISCICULTURA INTENSIVA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER*.

AUTOR: Wilson Enrique Tabares Porras**.

PALABRAS CLAVES: Generación fotovoltaica. Energía renovable. Cultivo de piscicultura. Sistema de producción intensivo. Radiación solar. Análisis de costo de inversión.

DESCRIPCIÓN:

El trabajo de grado presentado tiene como finalidad presentar un estudio en el cual se muestre la pre-factibilidad de utilizar sistemas de generación fotovoltaica para satisfacer parcialmente el consumo de energía eléctrica que presentan los cultivos de piscicultura en la modalidad de producción intensiva. De esta manera se busca que productores nuevos y existentes se interesen y vean una buena alternativa la utilización de estas tecnologías amigables con el medio ambiente.

La implementación de este sistema de generación de energía eléctrica implica evaluar el potencial energético de la zona con el fin de que se pueda garantizar los niveles técnicos de un cultivo de piscicultura intensiva, de modo que con este sistema de generación se pueda suministrar parcial o totalmente la energía necesaria para cumplir con los requerimientos energéticos del perfil de carga de los equipos utilizados en estos cultivos de piscicultura. Con esto se pretende asegurar las condiciones de desarrollo de cada etapa de vida de los peces, el cual involucra que la especie cultivada cuente con los parámetros fisicoquímicos del agua en los niveles adecuados para el cultivo de peces.

Por esta razón se debe hacer un análisis del sistema de generación de energía eléctrica y el sistema de respaldo, el cual sea confiable y pueda garantizar un suministro ininterrumpido las veinte cuatro horas del día los siete días de la semana, en las cuales este cultivo de piscicultura intensiva requiera contar con el abastecimiento de energía eléctrica en los procesos de producción piscícola que desarrollan.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Director, PhD. César Antonio Duarte Gualdrón. Codirector, PhD. Juan David Bastidas Rodríguez, MIE. Manuel José Ortiz.

ABSTRACT

TITLE: A CASE STUDY ON THE USE OF PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEMS FOR INTENSIVE PISCICULTURE FARMS IN SANTANDER DEPARTMENT*.

AUTHOR: Wilson Enrique Tabares Porras**.

KEYWORDS: Photovoltaic generation. Renewable Energy. Fish Farming. Intensive pisciculture system. Solar radiation. Investment cost analysis.

DESCRIPTION:

This undergraduate project aims to present a study that demonstrates the pre-feasibility of using photovoltaic generation systems to partially supply the electrical demand of intensive pisciculture facilities. Thus, this project seeks that new and established fish farmers get interested in the use of environmentally friendly technologies.

The implementation of this system of electric power generation involves assessing the energy potential of the area in order to ensure the technical levels of an intensive fish culture, so that with this generation system can be supplied partially or totally The energy required to meet the energy requirements of the load profile of the equipment used in these fish farming cultures. This is to ensure the conditions of development of each stage of life of the fish, which involves the cultivated species have the physicochemical parameters of the water at the appropriate levels for fish culture.

For this reason, an analysis of the electric power generation system and the backup system must be done, which is reliable and can guarantee an uninterrupted supply twenty four hours a day, seven days a week, in which this crop of Intensive fish farming requires the provision of electric energy in the fish production processes they develop

* Degree Work

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Director, PhD. César Antonio Duarte Gualdrón. Codirector, PhD. Juan David Bastidas Rodríguez, MIE. Manuel José Ortiz

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de energía eléctrica a nivel mundial origina la necesidad de buscar nuevas estrategias que contengan un alto componente tecnológico para poder afrontar este índice de aumento en la energía consumida, por esta razón, han surgido nuevos métodos los cuales permiten generar energía a partir de fuentes no convencionales. Actualmente, se observa como los adelantos tecnológicos le brindan al ser humano nuevas estrategias para satisfacer sus necesidades de consumo de energía con menos impacto ambiental del que se ha estado presentando.

Actualmente la forma de generar energía eléctrica en el mundo está determinada por fuentes de energía renovables (solar, eólica, biomasa, etc.), y no renovables (petróleo, carbón, gas, etc.), estas últimas han venido causando un deterioro en el medio ambiente y hasta el momento son las que tienen más índice de participación de generación en el mundo. Debido a la presente situación del medio ambiente se han estado realizando adelantos científicos en torno a materiales y equipos que puedan integrar de una manera eficiente estas fuentes de energía renovable y de esta forma lograr mitigar con un aporte considerable el daño que se está causando.

En el presente trabajo de grado se aborda la temática concerniente con una de estas fuentes de energía renovable como lo es la solar fotovoltaica, la cual aprovecha la energía proveniente del sol como recurso para generar energía eléctrica. Este método con el cual se obtiene energía, actualmente está presentado una buena aceptación y cada vez más personas en el mundo están haciendo uso de ella por lo cual se perfila a ser una innovadora y rentable forma de satisfacer las necesidades energéticas de la población.

En el trabajo de grado se abordarán cuatro capítulos en los cuales se desarrollará la temática de estudio. En el primer capítulo se plantea una introducción, justificación, planteamiento del problema y los objetivos propuestos para el presente trabajo; un segundo capítulo, abarca un marco teórico en el cual se desarrollara conceptos previos concernientes con la piscicultura y la temática de sistemas de generación fotovoltaica, equipos y componentes necesarios para llevar a cabo un proyecto con fuentes de energía renovable; en el tercer capítulo se evaluará el desarrollo de los objetivos y metas planteadas en el presente trabajo; en el cuarto capítulo se realizara el análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos de grado.

1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1 JUSTIFICACIÓN.

Las evidencias observadas por diferentes sectores colombianos muestran que el desarrollo económico del país está incrementando el consumo de energía eléctrica, debido al consumo de grandes industrias, la expansión horizontal y vertical que se observa en las grandes ciudades, por este motivo el requerimiento de energía eléctrica es mayor.

El territorio colombiano cuenta con entidades como la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), encargada de realizar las proyecciones energéticas del país, las cuales puedan predecir la creciente curva de demanda, y con ello realizar inversiones de expansión con el propósito de evitar colapsos en el sistema. El trabajo de estas instituciones es de gran importancia debido a que con estos estudios previos se crean estrategias de expansión en los mecanismos de generación, transición, distribución y comercialización de este servicio que es tan importante para el desarrollo de un país.

Al observarse esta tendencia de aumento de la demanda de energía se tienen que crear nuevas estrategias de expansión para la generación de energía, por esta causa generar con fuentes renovables, perfila a ser una buena alternativa en el momento de suplir las necesidades energéticas básicas, actividades económicas de familias y empresas, sin que tengan la necesidad de contar con una red de distribución que tenga que transportar la energía desde centros de generación lejanos, recorriendo grandes distancias, sino no que por lo contrario se genere la energía donde se requiera suplir la carga. Esto aportaría menos pérdidas en el

proceso de transporte, menores niveles de contaminación ambiental, afectación en la fauna y flora donde pasan las líneas de transporte.

Por estas razones este trabajo de grado tiene como finalidad mostrar la viabilidad de implementar energías renovables en procesos de desarrollo agrícola en zonas que están alejadas de los centros de generación. Por este motivo, el propósito es realizar un estudio del caso sobre la utilización de sistemas de generación fotovoltaicos en cultivos de piscicultura intensiva en el departamento de Santander. Una razón para incentivar la realización del proyecto es la buena posición geográfica en la que se encuentra el país en el trópico del ecuador, esto hace que se le brinde una buena radiación solar durante la mayor parte del año, destacándose como región idónea para realizar estos proyectos de generación de energía eléctrica con energía solar fotovoltaica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La constante dependencia de la energía eléctrica en las labores cotidianas del ser humano crea la necesidad de buscar herramientas que puedan ser implementadas y que permitan evaluar las necesidades presentes y futuras de energía. Gracias a estas tecnologías se podrán idear estrategias que puedan servir para proporcionar un suministro de energía eléctrica de forma eficiente, segura y confiable en los procesos de desarrollo económico, social e industrial.

El territorio colombiano es un país en vía desarrollo por esta razón en algunas zonas rurales las condiciones del terreno, vegetación, clima y otros factores ambientales conllevan a que no puedan contar con el suministro de energía eléctrica o a que sea poco eficiente lo que implica que la red eléctrica tradicional no pueda cumplir de manera continua con el abastecimiento de energía. En algunos casos esto se soluciona con la implementación de tecnologías que usan

fuentes de energía no renovables, pero provocando que se genere más contaminación en el ecosistema.

Por este motivo realizar un trabajo de grado en la temática de metodologías nuevas y existentes de dimensionamiento de sistemas que integren la generación de energía eléctrica de manera continua y eficiente con recursos renovables, resulta beneficioso en el momento de mitigar la problemática ambiental y de desabastecimiento de las zonas rurales con servicio poco eficiente y zonas no interconectadas a la red de servicio de energía.

1.3 OBJETIVOS.

Para el desarrollo del trabajo de grado se planteó un objetivo general y cinco objetivos específicos.

1.3.1 General. Realizar un estudio de caso, para ilustrar sobre la pre-factibilidad de la utilización de sistemas de generación fotovoltaicos en cultivos de piscicultura en el departamento de Santander.

1.3.2 Específicos.

- Establecer la metodología para dimensionar los requerimientos de demanda de energía eléctrica de un tipo de cultivo intensivo de piscicultura presente en el departamento de Santander en términos de las características técnicas del cultivo.
- Determinar el potencial solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en zonas del departamento de Santander con alta presencia del tipo

de cultivo intensivo de piscicultura en estudio, considerando las limitaciones de la información de radiación solar pública disponible.

- Dimensionar los componentes del sistema fotovoltaico en términos del potencial solar y de las características de la demanda del tipo de cultivo de piscicultura en investigación.
- Determinar el tipo de sistema de respaldo de generación de energía eléctrica en términos del potencial solar y de las características de la demanda del tipo de cultivo de piscicultura en estudio.
- Presentar un estudio del caso con un análisis de costo de inversión y tiempo de recuperación para un sistema integrado de generación de energía eléctrica en términos de las características técnicas del cultivo intensivo de piscicultura en estudio.

2. MARCO TEÓRICO.

En este capítulo se abordarán los aspectos relacionados con cultivos de piscicultura y las generalidades de los sistemas de generación solar fotovoltaica, términos, equipos y otros componentes que son esenciales en el éxito de un proyecto de este tipo.

2.1 PISCICULTURA.

El termino piscicultura se deriva del termino acuicultura que según la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), define como: “El cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, que implica la intervención del hombre en el proceso de cría para aumentar la producción, en sus ciclos de vida como la siembra, la alimentación, la protección de los depredadores, etc. La actividad de cultivo también presupone que los individuos o asociaciones que la ejercen son propietarios de la población bajo cultivo” [1].

2.2 PISCICULTURA EN COLOMBIA.

El desarrollo de la actividad acuícola en Colombia ha representado un sector productor de alimentos y generador de empleo rural, por esta razón el gobierno colombiano promueve el desarrollo de este sector brindando los mecanismos para su fácil fomento y evolución. El territorio nacional cuenta con una amplia red de instituciones que regulan el sector acuícola y sirven de soporte para poder dar

cumplimiento a la política de desarrollo rural y el fortalecimiento del sector agropecuario.

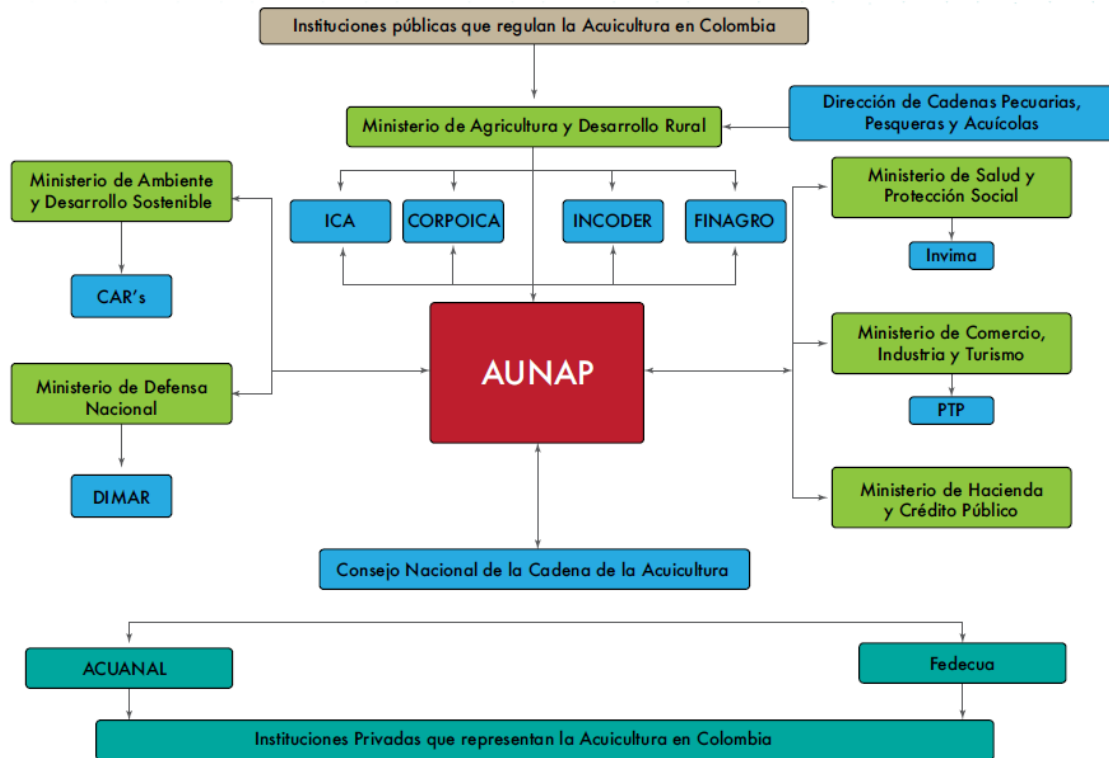
El ejercicio de esta labor demanda un gran esfuerzo, por este motivo el Gobierno nacional en conformidad con sus políticas de desarrollo creó la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP y le transfirió las funciones y atribuciones que en materia de pesca y acuicultura venía ejerciendo el Incoder, según el Decreto 4181 de 2011. Esto se da con el fin de establecer un sector más productivo que pueda mejorar las condiciones de vida de la población que ejerce la actividad de piscicultura [2].

AUNAP

Entidad descentralizada de la Rama Ejecutiva del orden nacional, de carácter técnico y especializado, con personería jurídica y autonomía administrativa y presupuestal, con patrimonio propio, adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Es la entidad que actualmente se encarga de regular la actividad acuícola en el territorio nacional.

En la Figura 1 se muestran las instituciones asociadas con la actividad de acuicultura en Colombia, encargadas de adelantar los procesos de planificación, investigación, regulación, vigilancia y control del sector agropecuario, así como de buscar mecanismos con los cuales se puedan acceder a recursos del gobierno colombiano [2].

Figura 1: Entidades y Organizaciones que se relacionan con la acuicultura en Colombia



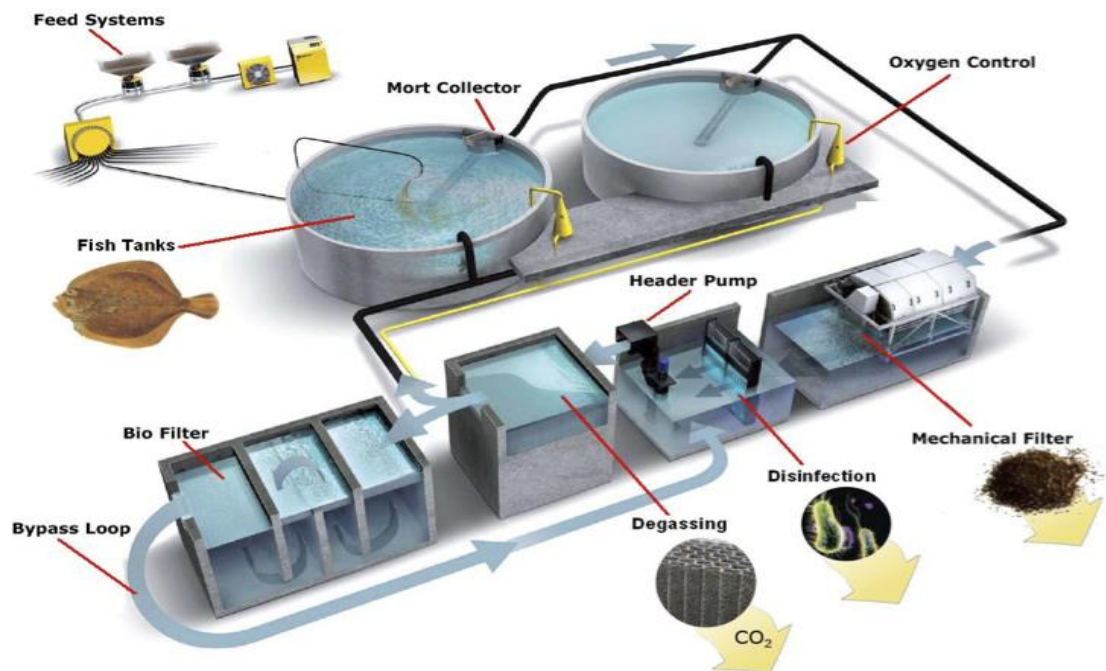
Fuente: MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura. Organización de Naciones Unidas para la Acuicultura y la Alimentación. Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia.

2.3 CULTIVO DE PISCICULTURA.

La piscicultura como actividad agropecuaria tiene como objetivo ser fuente de alimento y generar empleo rural, por esta razón en la actualidad se implementa tecnologías en el proceso del cultivo para hacer más competitivo este sector. En la Figura 2 se muestra un cultivo de piscicultura con tecnología de punta, en ella se muestran los equipos necesarios que se involucran en el proceso productivo de un cultivo intensivo de piscicultura con Sistema de Recirculación de Agua (RAS). Los cultivos intensivos de piscicultura con RAS requieren de un equipo (motor colector)

encargado de realizar la actividad de recambio de agua, transporta el agua del estanque de producción de peces hasta estanques de filtración y limpieza de las impurezas del agua. Además, por su alta densidad de especie requieren contar con un sistema de aireación que garantice los niveles de oxígeno en el agua permitido para el cultivo de la especie.

Figura 2: Cultivo de Piscicultura.



Fuente: EPIC-AQUA, Recirculation aquaculture system. [en línea] disponible en: www.epic-aqua.eu/RAS.html.

Fuente de agua.

La piscicultura es una actividad que debe desarrollarse en ambientes en los cuales las condiciones del agua deben ser compatibles con las exigencias biológicas de la especie a cultivar. El agua que se usa en cultivos de piscicultura puede tener diferentes orígenes como nacederos, quebradas, ríos, lagunas, embalses, aguas subterráneas, entre otras. El agua proveniente de acueductos municipales no es

recomendada por el hecho de que en el proceso de tratamiento utilizan productos químicos que son perjudiciales para el organismo de los peces [2].

En la Tabla 1 se muestra los parámetros generales que debe tener el agua para poder obtener un óptimo desarrollo de la especie a cultivar.

Tabla 1: Parámetros generales de la calidad del agua.

Parámetro	Límites
Temperatura	20 a 28°C
Oxígeno disuelto	3 a 8mg/l
CO ₂	5 a10 mg/l
Dureza	20 a 30 mgCaCO ₃ /l
PH	6,5 a 8,5
Amonio no ionizado	<0,1 mg/L
Nitrito	0,1 a 0,3 mg/l
Trasparencia	20 a 55 cm

Fuente: Autor con datos: Uruguay. Dirección Nacional de Recursos Acuáticos. *Manual basico de piscicultura en estanques.*

Las condiciones mencionadas en la Tabla 1 pueden variar según la especie que se quiera cultivar, hay parámetros de desarrollo óptimo en los cuales se pueden obtener mejores resultados en el proceso de desarrollo de cada especie.

Especie apropiada para el cultivo.

Una especie es adecuada para ser cultivada cuando reúne las siguientes características [3]:

- Buena aceptación en el mercado.
- Rápido crecimiento, alcanzando la talla comercial en el menor tiempo posible.
- Aceptación de alimentos suministrados.
- Tolerancia a altas densidades de siembra.
- Tolerancia a niveles bajos de oxígeno.

- Disponibilidad permanente de alevinos.
- Resistencia a enfermedades y parásitos.
- Fácil manejo, resistencia a la manipulación, traslados.
- Buena rentabilidad en el proceso.

En la Tabla 2 se mencionan las especies cultivadas en Colombia según la guía práctica de piscicultura, se habla de las especies y los parámetros óptimos de cada una para ser cultivada en el territorio nacional.

Tabla 2: Especies apropiadas para comercialización.

Especie	
Nombre común	Nombre científico
Trucha arco iris	Oncorhynchus mykiss
Carpa	Cypinus Carpio
Tilapia Roja	Oreochromis spp
Cachama Blanca	Piratus Brachypomus
Yamu	Brycon Siebenthalae

Fuente: Autor con datos de: Merino Archila, M. C., Salazar Ariza , G., & Gómez León, D. *Guía práctica de piscicultura en colombia.*

2.3.1 Tipo de sistema de producción. En piscicultura los sistemas de producción se miden según el nivel técnico y tecnológico con el que se maneje el cultivo. En la Tabla 3, se muestran los sistemas de producción implementados en cultivos de piscicultura. En la tabla se presentan los cuatro (4) sistemas de producción adoptados en cultivos de piscicultura, cada sistema tiene definido unos parámetros como lo son, densidad por metro cubico (m3), productividad (kg/m3), alimento, uso de aireadores y tipo de estanques de producción, estos parámetros varían según el sistema adoptado.

Tabla 3: Tipos de sistemas de producción.

Parámetros	Extensivo	Semi-Intensivo	Intensivo	Super Intensivo
Densidad [Pez/m³]	0,5	2-4	6-15	80-200
Productividad [kg/m³]	0,3	1-2	4-6	60-150
Alimento	Natural	Natura y artificial	Artificial	Ración balanceada altamente digestiva
Uso de aireadores	No	Limitado a ciertas horas	Las 24 Horas del día	Condiciones del agua
Estanques	Grandes lagunas y lagos	Lagunas, estanques en tierra	Pequeños y medianos, geomembrana, Cementó, estanques en tierra	Jaulas, geomembrana

Fuente: Autor con datos de: Malpartida Pasco, J. (s.f.). *Curso Piscicultura y Aireación*

2.4 EQUIPOS PARA SISTEMA DE PRODUCCIÓN INTENSIVO.

La actividad piscícola requiere contar con una mano de obra calificada y herramientas que puedan asegurar el correcto desarrollo de esta labor.

Estanque en geomembrana.

En cultivos de piscicultura se ha vuelto una tendencia el uso de geomembrana para llevar la actividad crecimiento de la especie seleccionada para el cultivo. Este interés surge como necesidad de mejorar las condiciones del agua y evitar las pérdidas por filtración de la misma, el desarrollo de esta actividad tiene más

fomento puesto que ya no es necesario contar con grandes extensiones de agua como lagunas y lagos para poder desarrollar proyectos piscícolas.

Figura 3: Estanque en geomembrana.



Fuente: VELÁSQUEZ L.. Arriba el campo. [en línea] Disponible en: <http://arribaelcampo.com.mx/sitio/?p=15929>.

Para poder desarrollar un proyecto en esta modalidad es necesario tener control de las diferentes variables físico-químicas para que el pez pueda gozar con las condiciones idóneas para su buen desarrollo. Existen otro tipo de estanques como los mencionados en la Tabla 3, en los cuales se puede realizar la actividad de cultivar peces para el desarrollo del proyecto se consideran estanques en geomembrana.

Equipos de aireación.

El nivel de oxígeno disuelto en el agua es un factor determinante en los cultivos de piscicultura, por ello es de gran importancia que este parámetro permanezca en los niveles idóneos para que la especie cultivada pueda desarrollarse de una forma adecuada y en los tiempos de crecimiento establecidos para los sistemas de producción adoptados en cultivos de piscicultura. Existen dos formas en las cuales se puede suministrar oxígeno atmosférico al agua. El primer método es llevándolo de la interfaz líquido-gas y el segundo de la interfaz gas-líquido.

El método de incorporar oxígeno al agua llevando de la interfaz liquido-gas se lleva a cabo con aireadores que impulsan el agua de los tanques hacia el aire transformando el agua en pequeñas gotas, colocándolas en contacto con el aire atmosférico y de esta manera se saturarán de oxígeno, que al momento de ingresar al agua nuevamente transferirán [5]. En la Tabla 4 se muestran algunos equipos implementados para realizar el primer método de ingresar oxígeno disuelto al agua.

Tabla 4: Equipos de aireación método liquido-gas.



	Paleta	Splash
Profundidad de trabajo[m]	0,5-1,2	0,8-1,8
Ventaja	Movimiento horizontal lo que permite abarcar grandes distancias. Puede ser usado en tanques poco profundos	Movimiento radial lo que permite adaptarse muy bien a tanques circulares. En profundidades medias proporciona homogenización total de la columna de agua.
Desventaja	A mayor profundidad menor mezclas de aguas. Trabajo unidireccional, mantenimiento y riesgo de deterioro.	En tanques poco profundos suspensión de sedimento. El efecto de succión de la hélice mortalidades en los primeros estadios de los peces
Grafico		

Fuente: Autor con datos de: Malpartida Pasco, J. (s.f.). *Curso Piscicultura y Aireación.*

El segundo método con el cual incorpora oxígeno al agua es llevándolo de la interfaz gas-liquido por medio de aireadores que inyectan aire atmosférico a elevada presión rompiendo la fase liquida e ingresando en forma de pequeñas

burbujas las cuales transfieren el oxígeno atmosférico al agua del tanque. En la Tabla 5 se mencionan algunos de los equipos que cumplen la función mencionada.

Tabla 5: Equipos de aireación método gas-liquido.

	Blower	Inyector propulsor
Profundidad de trabajo[m]	0-4	2-3,5
Ventaja	Un solo motor puede abastecer varias unidades de producción	Homogenización de masas de agua. Elevadas profundidades
Desventaja	Elevada cantidad de accesorios dificulta el manejo de la producción, tal como cosechas parciales, biometrías y cosecha final. Funciona mejor a mayores profundidades	No puede ser trabajado a pocas profundidades. Genera un caudal muy fuerte y promueve un gasto energético
Grafico		

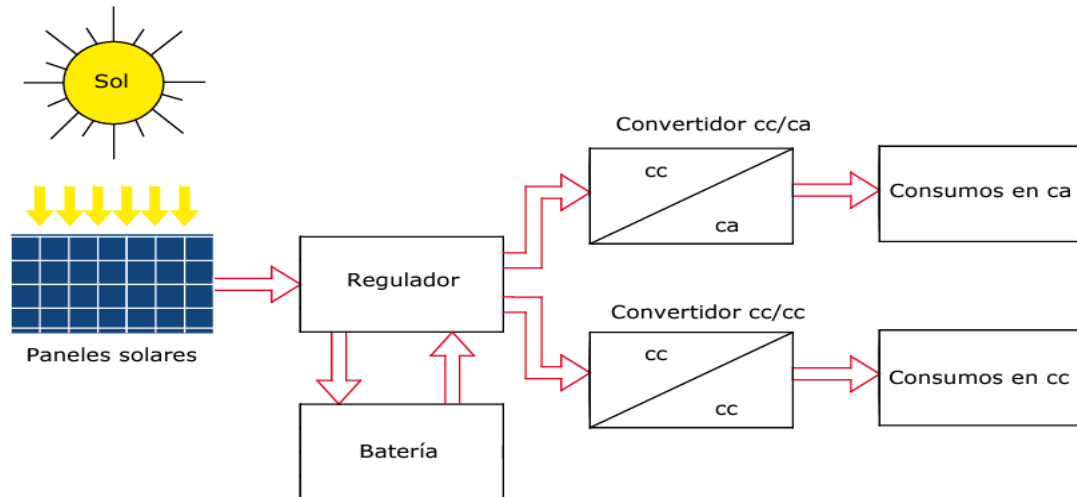
Fuente: Autor con datos de: Malpartida Pasco, J. (s.f.). *Curso Piscicultura y Aireación.*

2.5 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.

Un sistema solar fotovoltaico está compuesto por un conjunto de equipos eléctricos que se conectan entre ellos para cumplir la función de generar energía eléctrica con la energía proveniente de los rayos del sol. En la Figura 4 se muestra el esquema de un sistema solar fotovoltaico, en la cual se presentan los equipos necesarios para implementar un sistema autónomo de generación fotovoltaica, la

figura muestra los paneles solares, regulador de carga, baterías, convertidores de AC a DC y DC a DC y la carga que se conecta al sistema.

Figura 4: Sistema solar fotovoltaico.



Fuente: TOBAJAS VÁZQUEZ M. C., Instalaciones Salares Fotovoltaicas. Pag 6.

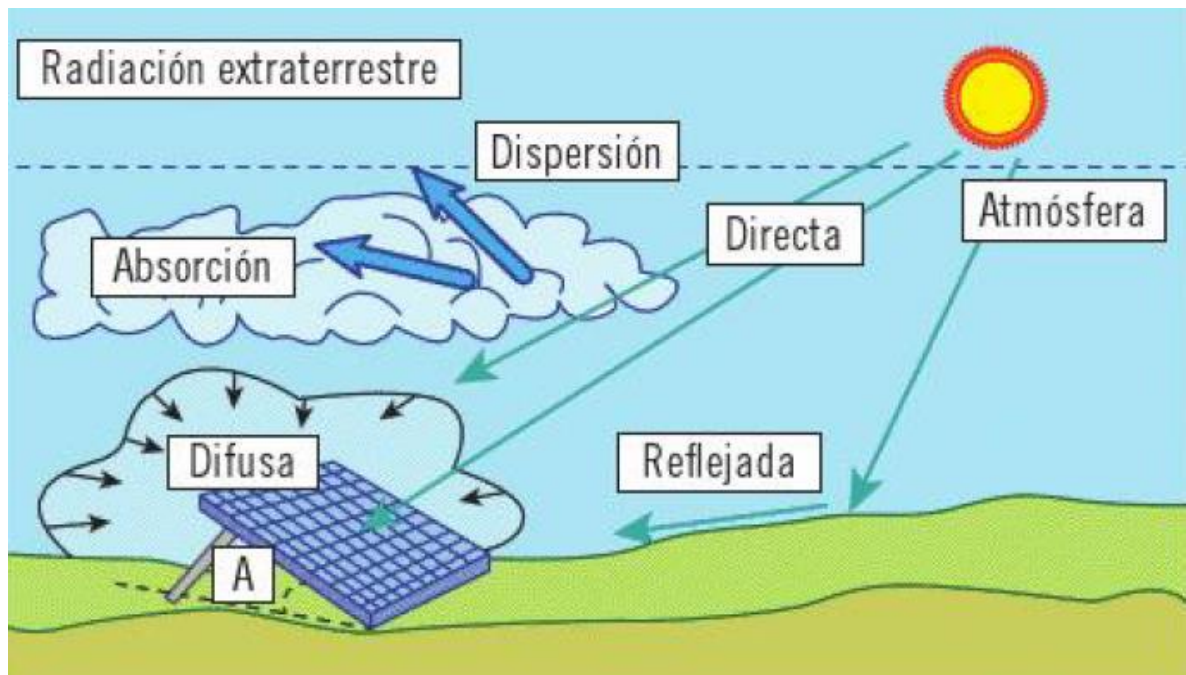
La implementación de un sistema solar fotovoltaico tiene como finalidad generar energía eléctrica de forma no convencional y de esta forma satisfacer las necesidades energéticas presentes. La energía solar fotovoltaica es la que usa la energía proveniente del sol como recurso para realizar el proceso de conversión a energía eléctrica, se basa en el efecto fotovoltaico, el cual consiste en la emisión de electrones por un material semiconductor llamado celda solar, cuando este es excitado por una fuente lumínica, este principio hace posible que se genere electricidad con los rayos provenientes del sol [6].

2.6 POTENCIAL ENERGÉTICO.

El término hace referencia a la capacidad que presenta una zona determinada para generar energía eléctrica con recursos provenientes del sol, este recurso

puede medirse por medio de la radiación solar instantánea cuyas unidades son W/m^2 , radiación promedio diaria cuya unidad es $kW/m^2/dia$ y también radiación promedio mes que incide sobre la superficie en las horas del día. Para ello se tiene en cuenta la posición geográfica y las condiciones medioambientales del sitio o zona en la cual se requiera evaluar el potencial energético [7]. Las condiciones medioambientales del lugar de estudio generan que la energía proveniente de los rayos solares pierdan su intensidad. En la Figura 5 se observa los diferentes fenómenos que sufre a radiación solar proveniente del sol, esto hace que la se clasifique en radiación directa, difusa y reflejada.

Figura 5: Radiación solar directa, difusa y reflejada



Fuente: ENTRENA GONZALES, F. J. *Determinación del potencial solar*. 2013

Radiación directa: Radiación que llega directamente al sistema de captación sin sufrir cambios en su dirección.

Radiación difusa: Es la radiación que penetra la atmósfera y es reflejada y absorbida por el conjunto de nubes.

Radiación reflejada: Es la que llega al sistema de captación producto de las reflexiones en los elementos del entorno.

2.7 ELEMENTOS DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.

Los sistemas solares fotovoltaicos están compuestos por una serie de equipos con los cuales es posible cumplir con el objetivo de generar energía eléctrica a partir de la radiación solar emitida por el sol.

2.7.1 Panel solar fotovoltaico. Son los componentes fundamentales de un generador fotovoltaico, encargados de captar la energía proveniente del sol y transformarla en energía eléctrica por medio del conjunto de celdas fotovoltaicas que forman parte de la composición del panel, por esta razón estos elementos son la parte principal en la generación solar.

El panel está conformado por un conjunto de elementos como, marco de aluminio, una cubierta de vidrio, diodos de protección, bornes de conexión y celdas fotovoltaicas.

2.7.2 Celdas fotovoltaicas. Son los elementos donde se produce la generación de energía eléctrica gracias a la interacción producida por las ondas electromagnéticas provenientes de los rayos de la luz solar, que penetran el material semiconductor y produce la interacción de los electrones del material semiconductor de la celda, induciendo el efecto fotovoltaico que produce que se genere energía eléctrica para satisfacer las necesidades energéticas de una carga eléctrica [6].

Las celdas solares según su fabricación y material del que están compuestas se clasifican en diferentes tipos. La Figura 6 presenta la elaboración de las celdas solares monocristalina y policristalinas.

Figura 6: Proceso de elaboración de las celdas



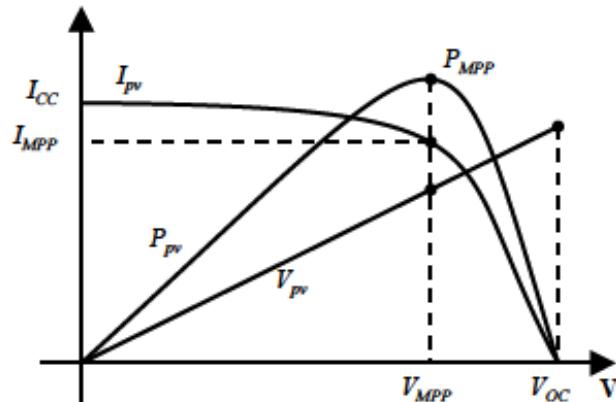
Fuente: TOBAJAS VÁZQUEZ, M. C. *Instalaciones Salares Fotovoltaicas*. 2012 Pag 8.

Las celdas solares presentan características de tensión y corriente proporcionalmente a la radiación recibida. La potencia de salida de la celda es casi directamente proporcional a la intensidad de luz, una característica que presentan las celdas es que la tensión no depende de su tamaño, y se mantiene casi constante con el cambio de la intensidad de la luz; caso contrario sucede con la corriente que es proporcional a la luz que recibe.

En la Figura 7 se presenta la curva característica de la celda fotovoltaica, en ella se muestra el punto de máxima potencia (P_{MPP}), tensión de potencia máxima

(V_{MPP}), corriente de potencia máxima (I_{MPP}), corriente de corto (I_{CC}) y tensión de circuito abierto (V_{OC}).

Figura 7: Curva característica de una celda solar.



Fuente: RUIZ C, L. J., BERISTAIN J, J. A., SOSA T, I., & HERNANDEZ L, J. Estudio del Algoritmo de seguimiento de Punto de Máxima Potencia Perturbar y observar. *Revista de ingeniería eléctrica, electrónica y computación* , 2010 7.

2.7.2.1 Tipo de paneles. El tipo de panel depende del material con el que se realice su fabricación y es el factor determinante en la capacidad de transformar energía solar en eléctrica. En la actualidad existen diversos tipos de materiales por medio de los cuales se consiguen mejorar la eficiencia de estos equipos generadores de energía eléctrica. En la Tabla 6 se exponen algunas características del tipo de paneles que son fabricados actualmente.

Tabla 6: Características de los paneles solares.

Tipo de panel	Característica
Monocristalinos	Estos módulos proporcionan el rendimiento más elevado, alrededor del 20% en la fabricación en serie y un 24% en modelos de laboratorio.
Policristalino	El rendimiento de estos módulos esta entre 12 y 14%, tienen un espesor reducido de varias micras. Presentan una forma cuadrada.

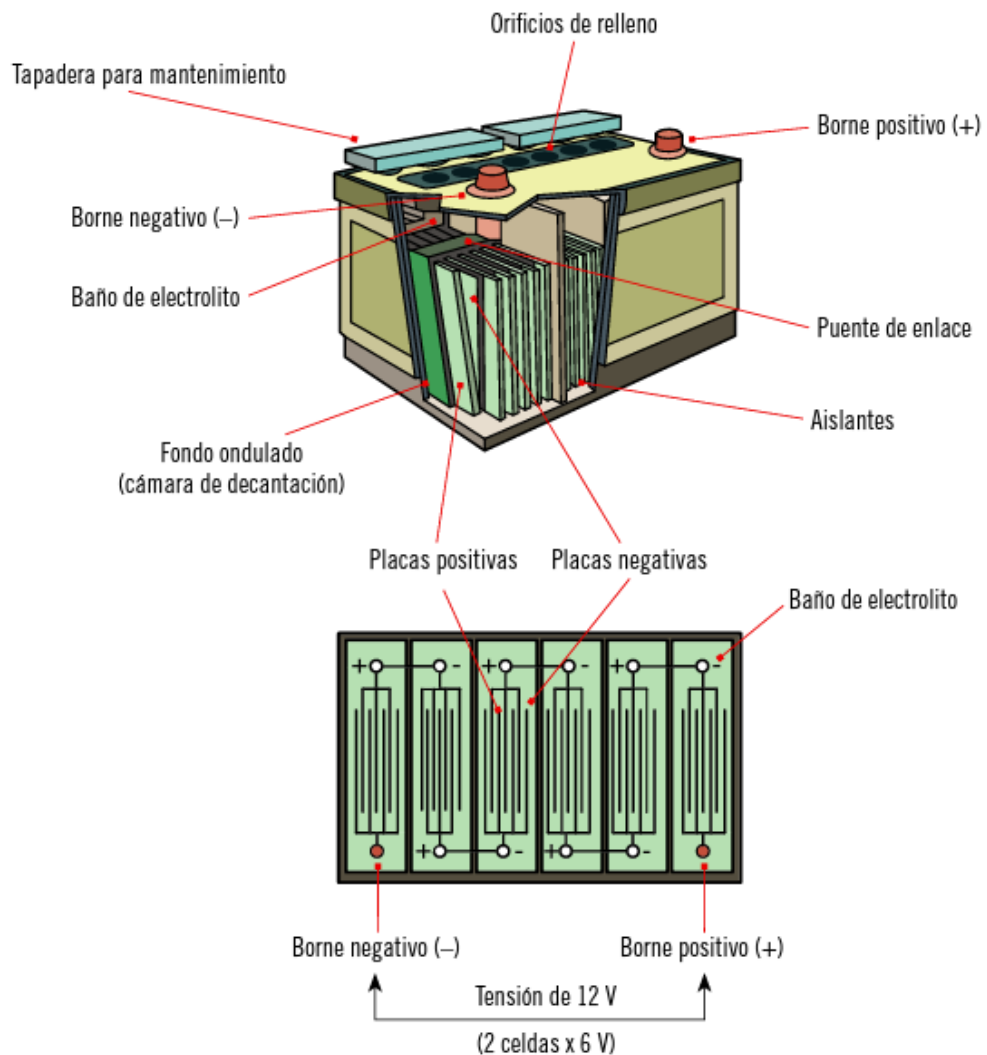
Amorfos	Proporcionan un rendimiento inferior al 10%, tienen como ventaja su maleabilidad. Instalados en tejados, superficie de edificios y oficinas.
Sulfuro de cadmio	Proceso de fabricación fácil por poco material activo. Los rendimientos máximos obtenidos en laboratorio no superan el 10%, que quedan reducidos a la mitad cuando llegan a la actividad industrial
Arsénico de galio.	Su rendimiento teórico alcanza límites cercanos al 27–28% en su versión monocristalina
Diseleniuro de Cobre	Estos módulos tienen rendimientos en laboratorio cercanos al 17% y en módulos comerciales están del 9%.
Teluro de Cadmio.	Su rendimiento en laboratorio es del 16% y en módulos comerciales del 8%

Fuente: autor con datos de: TOVAS VAZQUEZ. Instalaciones solares fotovoltaicas.2012.

2.7.3 Baterías. Dispositivos encargados de almacenar la energía proveniente del generador fotovoltaico para luego inyectarla al conjunto de cargas conectadas al sistema, entregando esta energía con unos parámetros adecuados de tensión y de corriente según sea el requerimiento de la carga.

Estos elementos están contruidos por uno o varios elementos electroquímicos que están en la capacidad de transformar energía química almacenada en su interior en energía eléctrica. Este tipo de energía luego es utilizada para suplir los requerimientos energéticos de la carga cuando los módulos fotovoltaicos no puedan cumplir con el suministro de energía. En la Figura 8 se muestran las partes constructivas de la batería, los bornes de conexión, placas positivas, orificios de relleno entre otros, necesarios para el buen funcionamiento de la batería.

Figura 8: Partes constructivas de una batería.



Fuente: LÓPEZ DE PONCE, A. L. Necesidades energéticas y propuesta de instalaciones solares.

2.7.3.1 Características generales de las baterías. Las características de los acumuladores de energía dependen de las propiedades constructivas y de los materiales usados para tal fin, capacidad, potencia, energía, rendimiento, sobrecarga, profundidad de descarga, autodescarga, tensión de trabajo, resistencia interna; entre estas las principales características que indican sus condiciones de trabajo son descritas a continuación.

Capacidad.

Es la cantidad de energía eléctrica que puede suministrar en algunas condiciones de funcionamiento dadas. Esta capacidad se mide en amperios-hora (Ah). Esta medida se define mediante unos parámetros que son, duración y naturaleza de la corriente de descarga, temperatura, tensión final de corte [8].

Profundidad de descarga.

Es la cantidad de energía expresada en forma porcentual, expresa el cociente de la energía entregada por la batería y su capacidad nominal de almacenamiento. Según sea la profundidad de descarga se puede llegar a afectar su vida útil, por esto se debe controlar el nivel de carga de modo que nunca llegue a un nivel por debajo de lo recomendado por el fabricante. Las baterías de ciclo profundo pueden llegar a soportar descargas de 80% sin que se afecte la vida útil de la batería [8].

Tensión de trabajo.

Las baterías están constituidas por celdas, las cuales presentan tensiones en un rango de 1,75V y 2,5V, se asume una tensión promedio de 2V nominales para la celda [8]. La tensión de operación de la batería se obtiene por medio de la agregación de celdas en serie según sea el requerimiento o la aplicación en la que se disponga de éstas.

2.7.3.2 Tipo de baterías.

Batería de plomo-ácido.

Este tipo de batería está compuesta por dos electrodos inmersos en un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua. En el momento en el que la batería se ha cargado el electrodo con carga positiva crea un depósito de dióxido de plomo (PbO_2) y el electrodo negativo es plomo. En el momento que se produce la descarga ocasiona una reacción química en la placa positiva y negativa haciendo que el depósito creado en ellas de sulfato de plomo (PbSO_4) reaccione, produciendo la transformación en el interior de la batería que hace posible entregar energía eléctrica [10].

Batería de níquel-cadmio.

La estructura de esta clase de batería es similar a la del plomo-acido, su cátodo está compuesto de hidróxido de níquel, su ánodo se compone de óxido de cadmio y formando parte de proceso químico un electrolito de hidróxido de potasio.

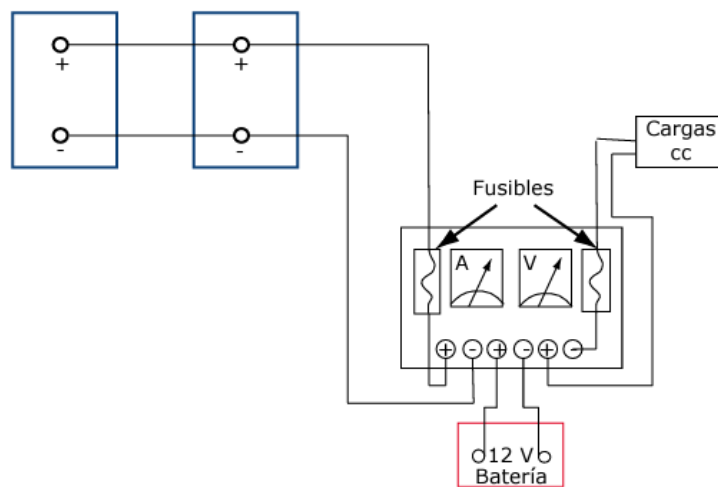
Durante el proceso de descarga el oxígeno pasa de la placa positiva a la negativa dando lugar al oxido de cadmio. Durante la carga el oxígeno hace el proceso contrario, viaja de la placa negativa a la positiva [11].

2.7.4 Reguladores de carga. Equipo electrónico del sistema fotovoltaico encargado de administrar los requerimientos de carga y descarga del grupo de baterías, actúan de protección ayudando a alargar la vida útil de este sistema evitando sobrecargas y descargas profundas [11]. El regulador de carga también regula la tensión de entrada del grupo generador según la generación en las horas del día debida a cambios ambientales como radiación solar y temperatura.

Los reguladores deben ser automáticos de modo que puedan realizar conexión y desconexión del grupo de baterías y la carga. Debe establecer los parámetros adecuados para lograr atender de forma óptima el despacho de la energía que se almacena en las baterías y la que le entrega a la carga.

En la Figura 9 se presenta un esquema básico del regulador de carga, en el que se muestra la conexión entre el generador fotovoltaico, las baterías, la carga en corriente continua y los instrumentos de medición de corriente y tensión.

Figura 9: Partes constructivas de una batería.

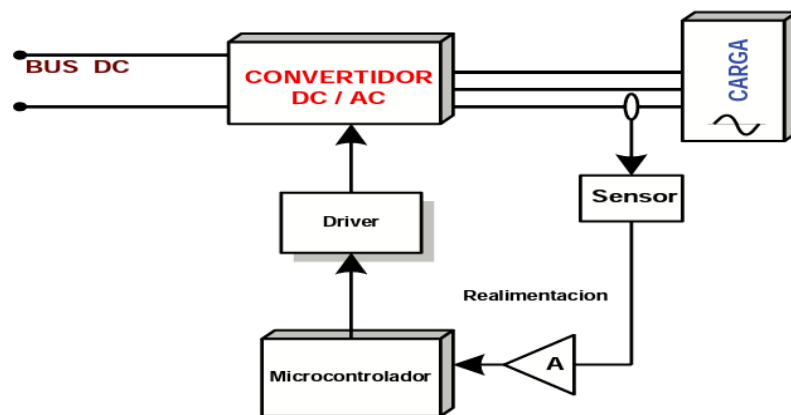


Fuente: TOBAJAS VÁZQUEZ, M. C. *Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Pag 22.*

Los reguladores además gestionar la energía que entra y sale de la batería cumple la función de gestionar la generación proveniente de los paneles fotovoltaicos de modo que cuando la generación sea suficiente para suplir la carga el regulado cambie de estado y supla esa demanda de energía y la generación excedente sea para cargar la batería, de este modo el requerimiento de uso de la batería se reduce haciendo que la profundidad de descarga de la batería sea menor.

2.7.5 Inversores. Los inversores son equipos electrónicos de potencia que transforman una señal de origen continuo en una señal sinusoidal, estos dispositivos trabajan mediante la acción de transistores o tiristores que trocean la corriente continua alternándola y estableciendo la forma de una señal sinusoidal. Tienen un circuito de realimentación el cual proporciona al control señales las cuales puede adaptar para ejecutar las acciones que ejecuta el algoritmo de control el cual efectúa las señales de disparo del equipo [8]. En la Figura 10 se muestra mediante un diagrama de bloques el funcionamiento de un inversor conectado a un BUS DC y que se encuentra operando en lazo cerrado con el fin de tener control ante un posible cambio en las características de la carga.

Figura 10: Diagrama de bloques de un inversor conectado a un sistema autónomo de generación fotovoltaica

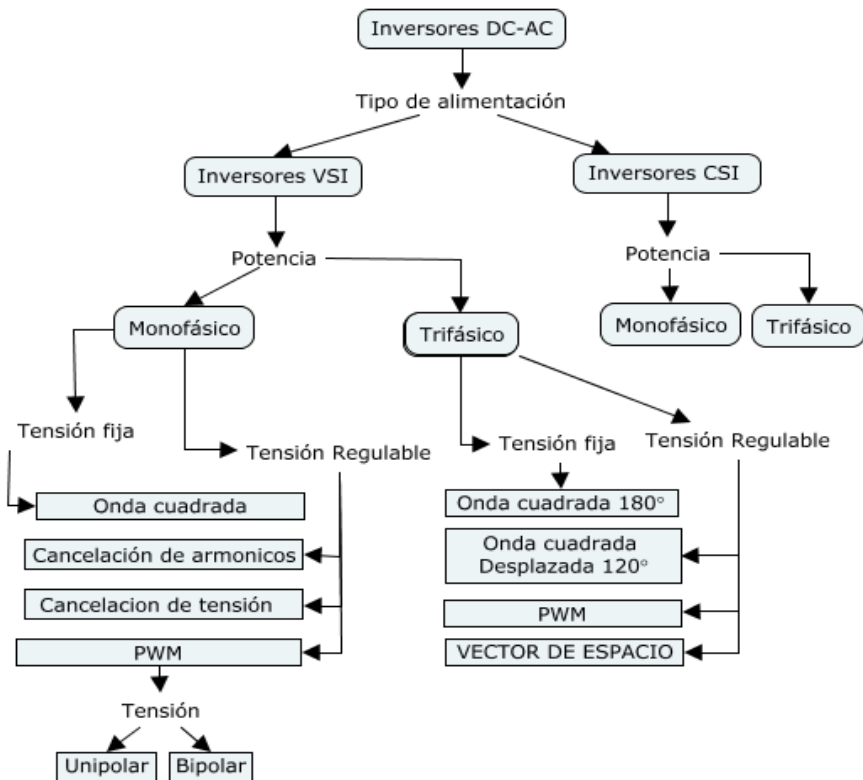


Fuente: GIMENO SALES , F. J., SEGUÍ CHILET, S., & ORTS GRAU, S. *Convertidores electrónicos: Energía solar fotovoltaica* .pag 75.

Los inversores deben estar en la capacidad de mantener la tensión de salida, la frecuencia de salida, limitar la corriente en caso de sobrecarga. Para aplicaciones fotovoltaicas se utilizan inversores que puedan elevar la tensión de salida según la configuración en la que se encuentren los paneles o el equipo regulador de carga con valores de 12, 24 y 48V a tensiones de modo sinusoidal de 125 o 220V que son las utilizadas en la mayoría de equipos eléctricos [9].

Los inversores por lo general se suelen clasificar en monofásicos para potencia menor de 5 kW y trifásicos para potencias mayores de 5 kW [8]. En la Figura 11 se presenta un esquema de la clasificación de los inversores según el tipo de alimentación y potencia de maniobra del equipo.

Figura 11: Clasificación de los inversores



Fuente: Autor con información de: Gimeno Sales , F. J., Seguí Chilet, S., & Orts Grau, S. *Convertidores electrónicos: Energía solar fotovoltaica* . Pag 75-77.

2.8 HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN.

El uso de energías renovables está en incremento, cada día se está observando como esta tendencia de generación de energía toma fuerza, por esto se debe estar en constante desarrollo y mejoramiento de herramientas que sirvan de ayuda

en la toma de buenas decisiones en el momento de realizar un análisis energético. Los modelos que permiten realizar estos análisis son una base en la determinación de los componentes que integran estos sistemas de generación de energía. En el mercado existen una amplia gama de estos softwares, todos tienen el mismo fin que es hacer el modelamiento de un sistema en específico dependiendo del recurso el cual se utilice.

A continuación, se describirán estas herramientas que permiten realizar análisis energético y sirven de ayuda en la toma de decisiones

PVsyst

Herramienta de diseño de sistemas fotovoltaicos, ofrece un enfoque rápido para la estimación de estudios de energía solar. Pvsyst brinda la ayuda de poder estimar los detalles, el tamaño de los componentes realizando un análisis por hora del sistema. Permite realizar diseños en dos niveles, un primer nivel de pre-dimensionado en el cual se obtiene un diseño rápido y sencillo que permite dimensionar tanto una instalación aislada, como conectada a la red. El segundo nivel de diseño del proyecto, realiza una simulación detallada con valores horarios, que ayuda a definir el campo fotovoltaico y elegir correctamente los componentes [12].

La Tabla 7 muestra algunas características asociadas a esta herramienta de simulación.

Tabla 7: Características PVsyst.

Características	
Sistema operativo	Windows o máquina virtual para otros sistemas.
Tipo de análisis	Financiero y técnico
Licencia	Versión modo evaluación gratis por un mes, después se ejecutara en modo demostración con restricciones de lugares y componentes
Idioma	Inglés, francés, español, alemán e italiano
Base de datos	Importación de datos meteorológicos y datos de la Nasa
Componentes para el modelado	Paneles fotovoltaicos, convertidor DC/AC, Regulador de carga, baterías, generadores, bombas, regulador de bombeo.

Fuente: autor con ayuda de: Alfonso Palacio, Stefanny Andrea; Agamez herazo, Stefany "Diseño óptimo de un sistema híbrido de generación para el nuevo edificio de la E3T," Universidad Industrial de Santander, 2016.

SAM

El Asesor de System Model (SAM) es una herramienta de modelación de desempeño financiero, diseñada con el objetivo de facilitar la toma de decisiones que se presentan en los estudios del sector de las energías renovables [13].

En la Tabla 8 se muestran las características más relevantes de este software de análisis financiero y técnico.

Tabla 8: Características software SAM

Características	
Sistema operativo	Windows 7/8/10, OS X 10.8, Linux 86-64
Tipo de análisis	Financiero y técnico
Licencia	Gratuita
Idioma	Inglés
Base de datos	OpenEI U.S. (venta detallada de electricidad para U.S), NREL (solar, condiciones climáticas ambientales, viento, biomasa)

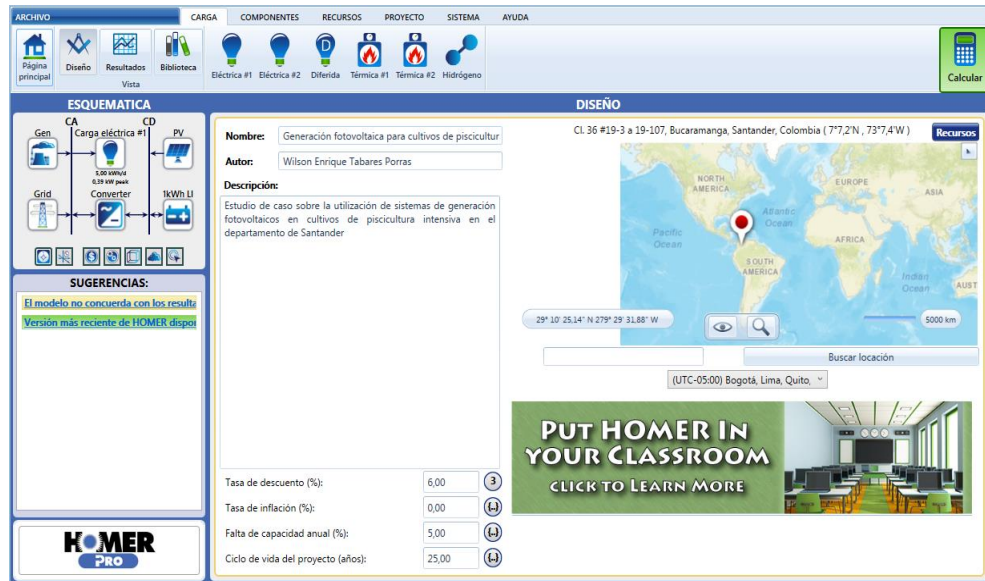
Componentes para el modelado	Sistemas fotovoltaicos (plato plano, concentración), modelo de baterías de almacenamiento para sistemas fotovoltaicos, concentrador solar, torre de concentración solar (sales fundidas y vapor directo), concentración lineal Fresnel, energía solar térmica, calentador de agua térmico convencional para residencias o construcciones comerciales, energía eólica (grande y pequeño), energía geotérmica y energía biomasa
------------------------------	---

Fuente: autor con ayuda de: Alfonso Palacio, Stefanny Andrea; Agamez Herazo, Stefany "Diseño óptimo de un sistema híbrido de generación para el nuevo edificio de la E3T," Universidad Industrial de Santander, 2016.

Homer.

Homer es una herramienta de optimización que permite dimensionar sistemas de potencia distribuida, esta herramienta facilita evaluar diseños de sistemas de energía los cuales pueden estar conectados o desconectados de la red. Adicionalmente busca la combinación más idónea de menor costo que satisface las necesidades de la carga, optimiza costos según el ciclo de vida y genera resultados de análisis sensible para la mayoría de los datos de entrada [14]. En la Figura 12 se muestra la ventana principal de esta herramienta de simulación.

Figura 12: Ventana principal de HOMER.



Fuente: Homer Pro versión 3.5.4.

En el momento de usar esta herramienta se debe proporcionar al modelo datos de entrada, que describen las opciones tecnológicas, los costos de los componentes y la disponibilidad de los recursos. El programa usa estos datos de entrada para simular diferentes configuraciones de sistema o combinaciones de componentes y genera resultados que luego se podrán encontrar en una lista de configuraciones de las cuales se elegirá la que mejor se ajuste a los requerimientos de la aplicación.

Simulación.

HOMER simula la operación de un sistema llevando a cabo cálculos del balance de energía para cada una de las 8,760 horas de un año. Para cada hora, HOMER compara la demanda eléctrica en la hora con la energía que el sistema pueda suministrar en esa hora y calcula los flujos de energía, para y desde cada componente del sistema [15].

Optimización.

Después de la simulación de todas las posibles configuraciones del sistema, HOMER despliega una lista de configuraciones, ordenadas por costo neto presente, que puedan utilizarse para comparar las opciones del diseño del sistema [15].

Análisis de sensibilidad.

Al definir las variables sensibles como datos de entrada, HOMER repite el proceso de optimización para cada variable sensible que se especifique. Por ejemplo, si se define la velocidad del viento como una variable sensible, HOMER simula las configuraciones del sistema para cada valor de velocidades del viento que se especifique [15].

Estrategias de despacho.

La estrategia de ciclo de carga (CC). Es una estrategia de despacho de energía por medio de la cual cuando un generador deba operar para abastecer la carga primaria, éste opere a máxima potencia. La producción excedente de electricidad, se dirige a objetivos de menor prioridad como son (en orden descendente de prioridad): alimentar la carga desplazable y cargar el banco de baterías [15].

La estrategia de seguimiento de carga (LF). Es una estrategia de despacho de energía en la que cada vez que el generador opere, produzca solamente la potencia suficiente para abastecer la carga primaria conectada. Los objetivos de menor prioridad, como cargar el banco de baterías o alimentar la carga desplazable se dejan para las fuentes de energías renovables [15].

En la Tabla 9 se nombran las características más significativas de la herramienta de simulación Homer.

Tabla 9: Características de la herramienta de simulación Homer

Características	
Sistema operativo	Windows 7/8/10
Tipo de análisis	Técnico y financiero
Licencia	Versión de prueba por 30 días
Idioma	Inglés y español en la versión 3.5.4
Base de datos	NREL proporciona datos TMY2 y TMY3, El Conjunto de Datos de Energía Solar de la NASA, El Centro Mundial de Datos de Radiación.
Componentes para el modelado	Panel FV, inversor, baterías, generador, red eléctrica, turbina de viento, volante de inercia, calentador, electrolizador, tanque de hidrogeno.

Fuente: Autor con ayuda de: Homer Pro Versión 3.5.4

3. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.

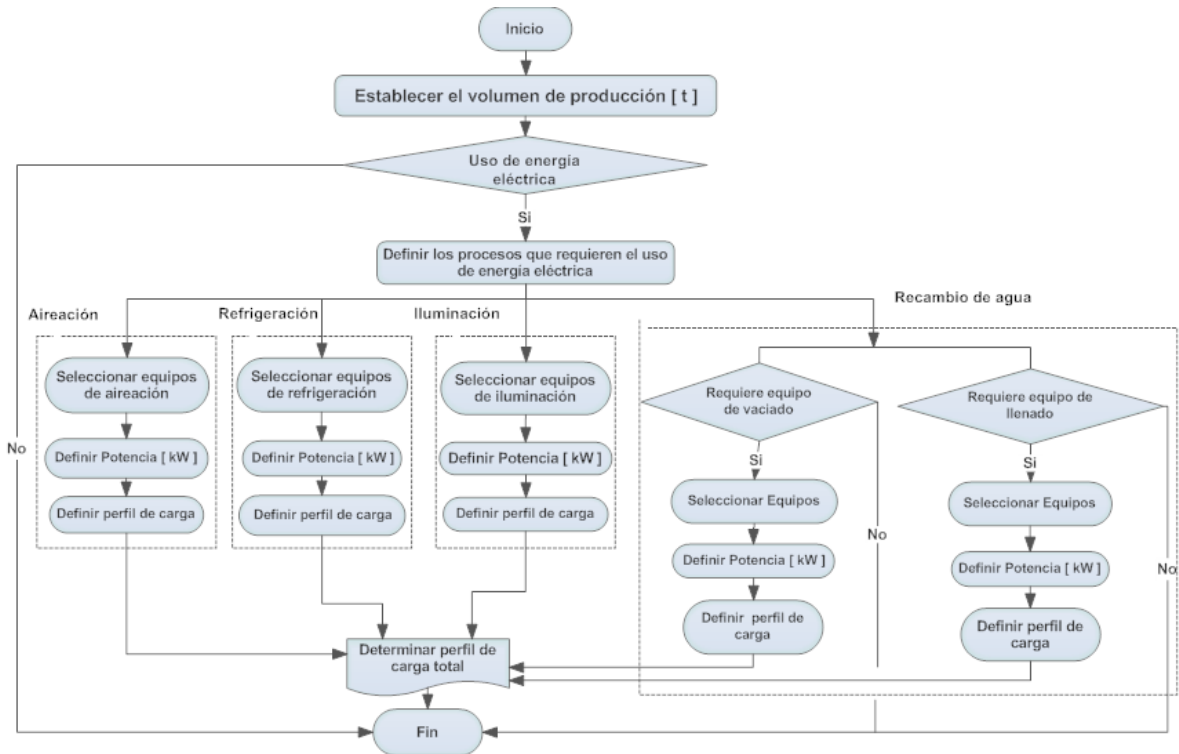
La metodología planteada para cumplir con los objetivos propuestos en el presente trabajo de grado, se llevará a cabo en cinco fases, en las cuales se contempla el desarrollo individual de cada objetivo.

3.1 DETERMINACIÓN DE FASES.

Fase 1: Metodología de dimensionamiento de la demanda eléctrica de un tipo de cultivo intensivo de piscicultura. Esta fase consiste en dimensionar la demanda de energía eléctrica necesaria para abastecer las necesidades en un cultivo de piscicultura tipo intensivo presente en el departamento de Santander.

En la Figura 13 se muestra la metodología para determinar la demanda de energía eléctrica de un cultivo intensivo de piscicultura. El primer paso en el desarrollo de la metodología es establecer el volumen de producción del cultivo para cuantificar el número de equipos y procesos que requieren energía eléctrica. Establecido el volumen de producción de peces del cultivo, se procede a identificar la potencia y perfil de carga de cada uno de los equipos de los procesos de aireación, refrigeración, iluminación y recambio de agua. Finalmente se determina el perfil de carga total necesario para el suministro de energía eléctrica en el cultivo.

Figura 13: Metodología para la estimación de la demanda eléctrica de un cultivo intensivo de piscicultura.



Fase 2: Determinación del potencial solar fotovoltaico. Esta fase comprende determinar el potencial solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica para la zona de un caso de estudio ubicado en el departamento de Santander con alta presencia del tipo de cultivo intensivo de piscicultura.

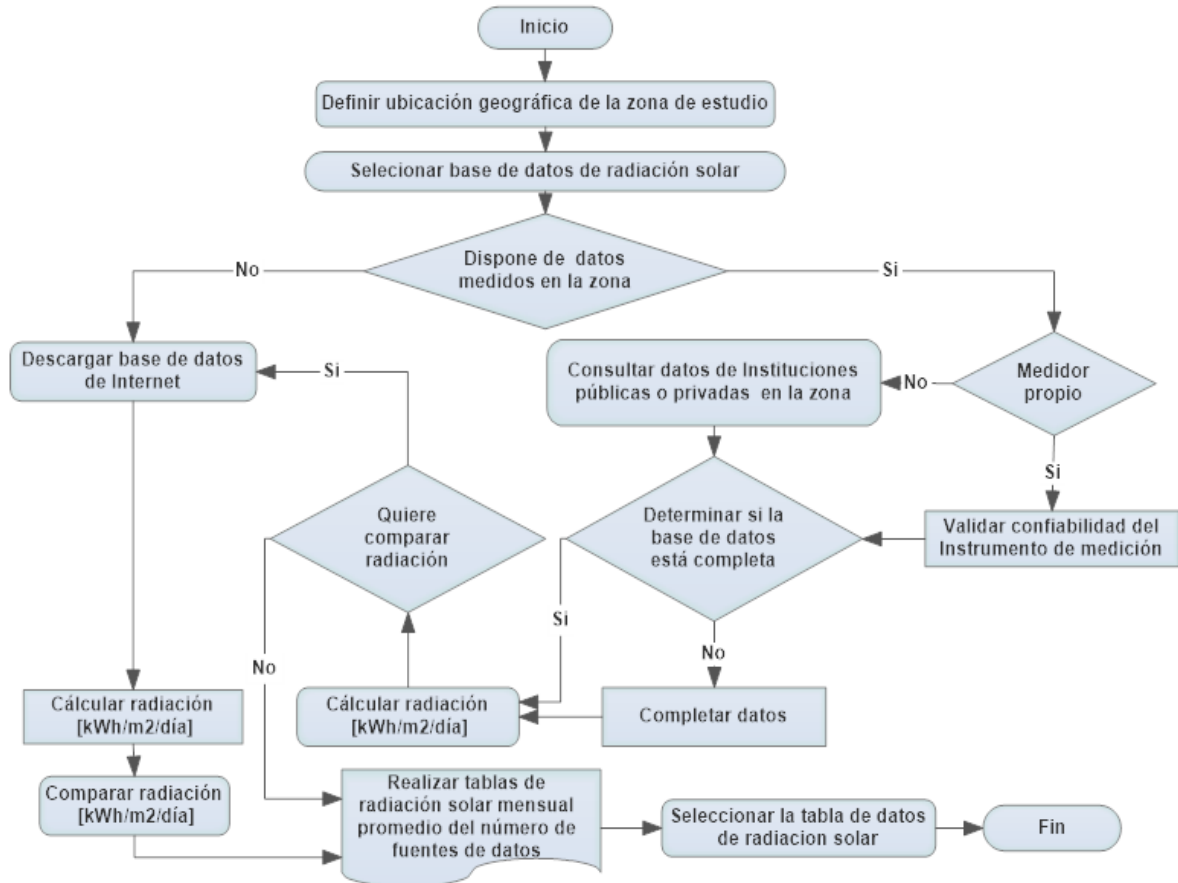
La metodología para la determinación del potencial solar para el caso de estudio de este trabajo de grado se presenta en la Figura 14. A continuación se describe paso a paso dicha metodología.

El primer paso para la determinación del potencial solar consistirá primero en definir la ubicación geográfica de la zona de estudio. Una vez determinada la ubicación geográfica de la zona de estudio se procederá a seleccionar los datos de radiación solar necesarios para calcular el potencial solar y evaluar si la

cantidad de radiación es apta para la implementación de los sistemas fotovoltaicos en la zona elegida. Para la obtención de los datos de radiación, se debe evaluar la existencia de datos de radiación medidos a partir de estaciones meteorológicas en la zona de estudio y en caso de que no existan mediciones de datos de radiación en la zona, los datos se pueden descargar de bases de datos de instituciones internacionales como la Agencia de Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) y se procederá a calcular la radiación solar a partir de estos datos. En caso de contar con mediciones en la zona de estudio se debe corroborar si los datos son obtenidos a través de instrumentos de medición propios para evaluar la confiabilidad del instrumento, en caso de que no se cuente con instrumentos de medición propios los datos serán consultados en instituciones públicas o privadas de la zona estudiada como universidades o en nacionales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Luego de obtener los datos en cualquiera de las dos formas, se determina si existen datos faltantes para completarlos utilizando métodos para completar datos con una herramienta computacional, como Excel, Matlab o algún software de energías renovables que cuenten con esta opción. Completados los datos de radiación solar obtenidos a partir de instrumentos de medición o de fuentes locales se procede a calcular la radiación solar, y con el fin de tener una mayor confiabilidad de los datos se determina si deben compararse las radiaciones calculadas a partir de datos locales con la radiación obtenida por datos de instituciones internacionales, en cualquiera de los dos casos elegidos se procede con la realización de las tablas de radiación solar promedio mensual, y se selecciona la tabla de datos de radiación que más se ajuste a las características climatológicas de la zona de estudio.

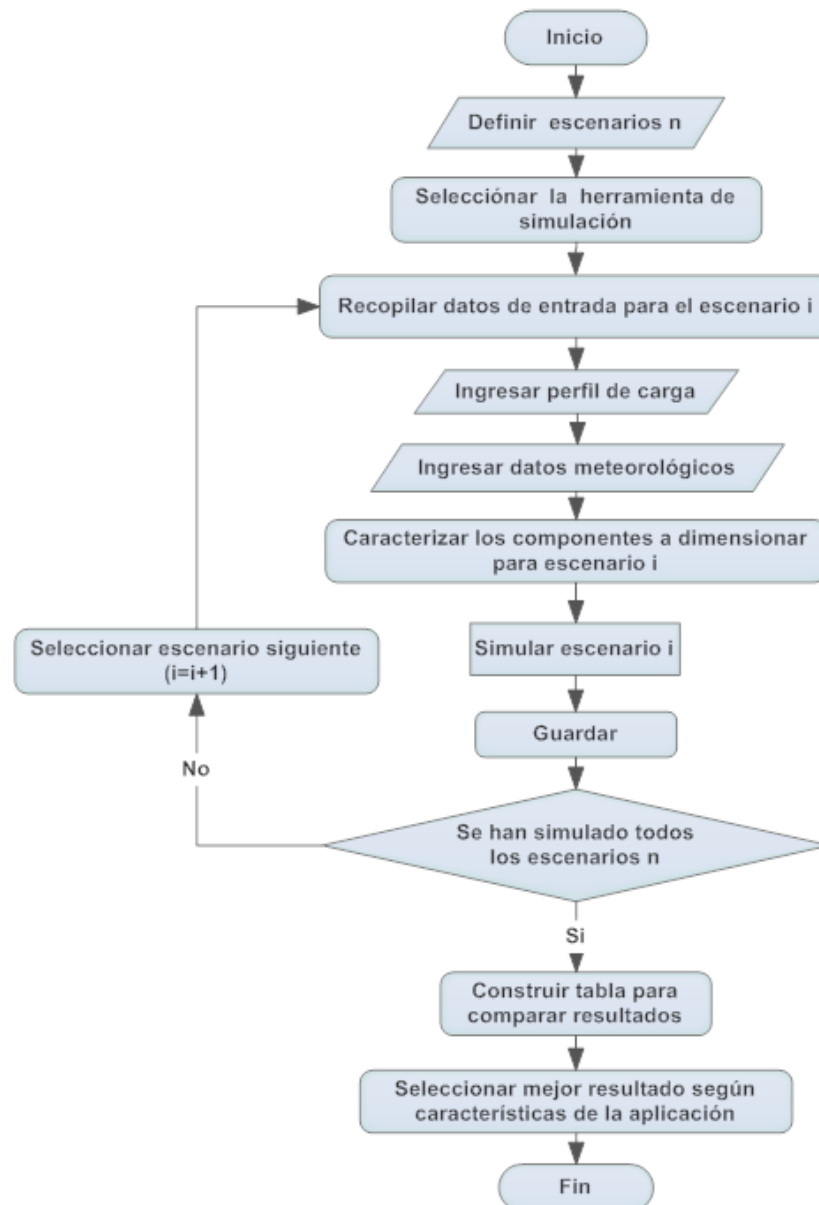
Figura 14: Método para determinar el potencial solar fotovoltaico del departamento de Santander.



Fase 3: Dimensionamiento de los componentes del sistema de generación fotovoltaico. El objetivo de esta fase es dimensionar los componentes del sistema de generación fotovoltaico en términos del potencial solar y de las características de la demanda del tipo de cultivo de piscicultura en investigación a partir de los resultados de las fases uno y dos. El dimensionamiento de los componentes del sistema de generación fotovoltaica se llevará a cabo mediante la metodología presentada en la Figura 15. A continuación se describen cada uno de los pasos necesarios para desarrollar la metodología para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico a utilizar en el cultivo de piscicultura.

Inicialmente se deben definir escenarios de combinación entre los sistemas de generación por red eléctrica, generación por motor diésel y generación por sistema fotovoltaico; determinar cada uno de los componentes de los diferentes escenarios como por ejemplo en el caso de proponer el escenario de red eléctrica y sistema de generación fotovoltaico, los componentes serán los paneles solares, inversores y baterías. Como segundo paso se selecciona la mejor herramienta de simulación técnica y financiera de acuerdo con las características y requerimientos para el presente estudio. El conjunto de herramienta entre las cuales se puede elegir son las siguientes: PVsyst, SAM y Homer. Como tercer paso se recopilan los datos de entrada requeridos para simular cada escenario definido en el paso uno; de acuerdo con la herramienta de simulación elegida, se ingresa el perfil de carga, datos meteorológicos y la caracterización de potencia de los componentes de cada escenario. Finalmente se simula cada escenario con la herramienta de simulación y datos ingresados y se construye la tabla de resultados para seleccionar el mejor resultado según las características de aplicación.

Figura 15: Método de dimensionamiento de los componentes de un sistema de generación fotovoltaico.



Fase 4: Determinación del sistema de respaldo de energía eléctrica para el caso estudio. En la producción piscícola es necesario un suministro de energía eléctrica continuo e ininterrumpido para no perder producción. Por tanto, los productores cuentan con sistemas de respaldo de energía eléctrica para garantizar

este requisito de producción. La fase cuatro, consiste en determinar el sistema de respaldo fotovoltaico de energía eléctrica en términos del potencial solar y de las características de la demanda eléctrica del cultivo en estudio.

Para cumplir el objetivo de esta fase se deben realizar tres pasos. Primero, se determinan las características de la zona, el tiempo y número de veces en las cuales no se cuenta con el fluido eléctrico; como segundo paso se ingresa la configuración de componentes del sistema de respaldo en la herramienta de simulación definida en la fase tres. Finalmente, del análisis que realice la herramienta de simulación se escogerá la configuración del sistema de respaldo que brinde mayor rentabilidad económica, según el valor presente neto (VPN) arrojado por él modulo económico de la herramienta de simulación.

Fase 5: Análisis de costo de inversión y tiempo de recuperación para el sistema integrado de generación de energía eléctrica para un caso estudio.

Esta fase consiste en realizar un análisis de costo de inversión y de tiempo de recuperación para la instalación de un sistema integrado de generación de energía eléctrica a través de energía solar para un cultivo intensivo de piscicultura. El desarrollo de esta fase se basará en los resultados obtenidos en la fase tres del presente proyecto de grado. Para el análisis de costo de inversión y tiempo de recuperación se evaluarán los escenarios planteados en la fase tres, para tal fin se tomará un caso base de los escenarios propuestos y se compara respecto a los demás escenarios, con el objetivo de establecer una comparación económica entre el caso base y los casos de evaluación, y de esta forma cuantificar el dinero ahorrado en cada caso. Se deberán cuantificar los flujos de dinero, para todos los casos. Los flujos incluirán la inversión inicial, los costos de operación y mantenimiento, y el valor ahorrado por la implementación de los sistemas.

De esta evaluación entre los escenarios y el caso base se obtendrá la tasa interna de retorno (TIR) y el tiempo de recuperación en años de la inversión inicial

producto del flujo de efectivo ahorrado obtenido en la comparación de cada escenario respecto al caso base. La TIR y tiempo de recuperación en años serán determinados a partir del software de simulación definido en la fase tres y con los resultados obtenidos se realizará un análisis comparativo de la mejor opción económica de las configuraciones propuestas respecto al caso base.

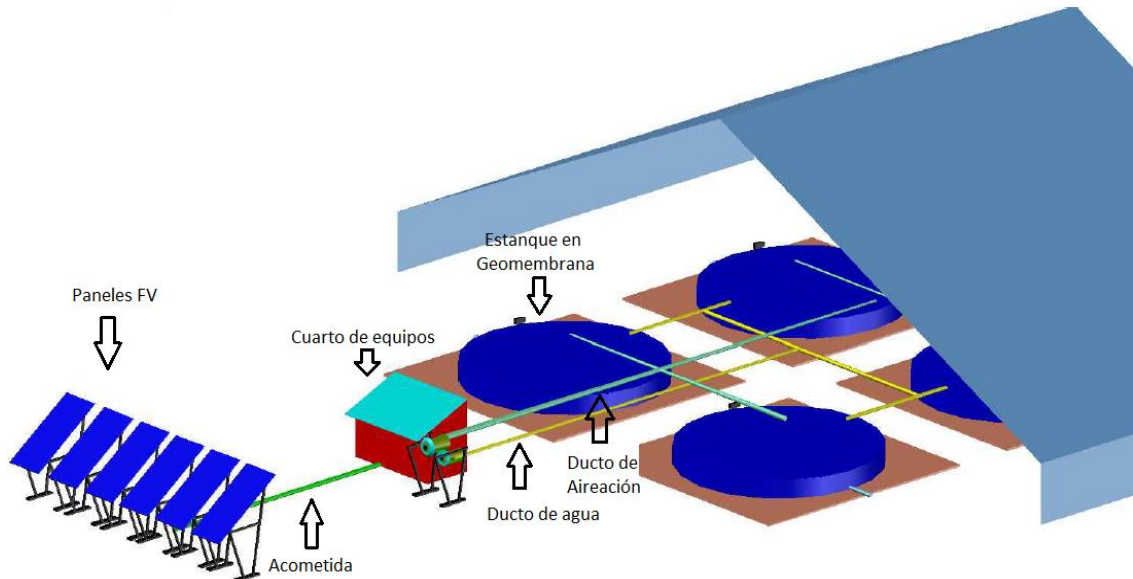
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del desarrollo de la metodología planteada en el capítulo tres. El presente capítulo inicia con la descripción del caso estudio al cuál se aplicará la metodología de investigación propuesta. Luego se describen y analizan cada uno de los resultados obtenidos en cada fase de la metodología propuesta en el trabajo de grado.

4.1 CASO DE ESTUDIO.

El caso estudio consiste en un cultivo de piscicultura intensivo, el cual cuenta con cuatro estanques de geomembrana, cada uno con una capacidad de una tonelada de producción. Se plantea que el cultivo tenga capacidad de producción de ocho toneladas anuales. En la Figura 16 se muestra un esquema del caso de estudio, en el cual se presentan los componentes de un sistema intensivo de producción de peces. Para el desarrollo de este caso de estudio se llevará a cabo la metodología planteada en las cinco fases mencionadas anteriormente.

Figura 16: Esquema del caso de estudio.



4.1.1 Metodología de dimensionamiento de la demanda eléctrica de un tipo de cultivo intensivo de piscicultura. En cultivos de piscicultura intensiva por sus altas densidades de peces cultivados por cada metro cúbico (m^3) de agua por estanque, es indispensable contar con energía eléctrica para llevar a cabo los procesos de aireación, refrigeración, iluminación y recambio de agua, necesarios para mantener los parámetros de oxígeno y calidad del agua requeridos para el cultivo de peces, si llegara a fallar el suministro de energía para cualquiera de esos procesos las consecuencias debido a la ausencia del fluido eléctrico conllevará a pérdidas parciales o totales de producción por la muerte de los peces cultivados en estanques.

Equipo de aireación: En Santander el dimensionamiento de los equipos de aireación utilizados para proporcionar oxígeno disuelto al agua en estanques de geomembrana, se realiza en función de la producción. En la Tabla 10 se muestra la caracterización de la capacidad, producción y número de peces por estanque de geomembrana. Para el caso de estudio en el cual se contempla una producción semestral de cuatro (4) toneladas, la selección de los equipos de aireación y la

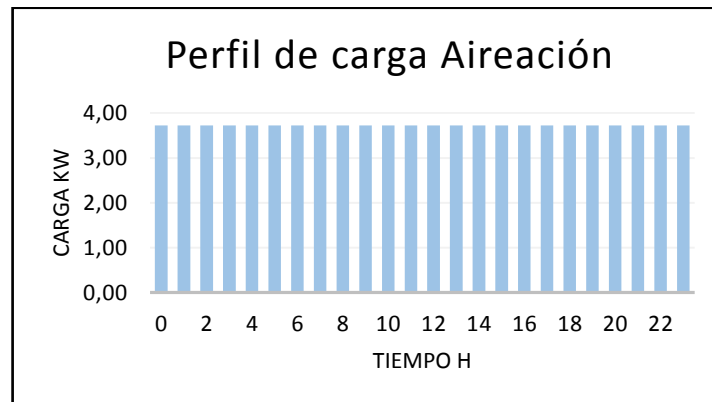
potencia para cada equipo se presenta en el Anexo A. Con la potencia requerida para la producción estimada, se define el perfil de carga de la Figura 17, el cual debe ser constante durante las 24 horas del día con el propósito de garantizar los niveles adecuados de oxígeno en el agua.

Tabla 10: Etapa final de la especie.

Estanque en geomembrana						
Producción [kg]	Peces	Peces [m3]	Diámetro [m]	Altura [m]	Volumen [m ³]	Peso final pez [kg]
1000	2222	20	12	1,1	124,40736	0,45

Para asegurar que la producción contenida en el estanque de geomembrana cuente con los niveles de oxígeno adecuados se debe garantizar que el equipo de aireación este en constante funcionamiento las 24 horas del día.

Figura 17: Perfil de carga sistema de aireación.

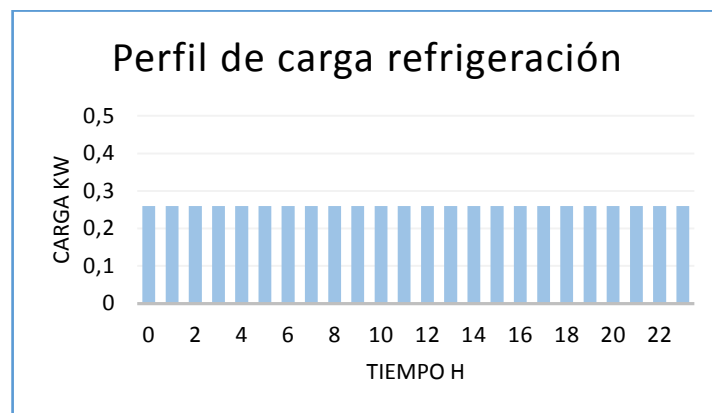


Refrigeración: En las granjas de piscicultura se acostumbra llevar una producción escalonada, esto quiere decir que se retira el producto cosechado de forma secuencial. Dicho procedimiento se realiza con el fin de garantizar que no haya una sobreoferta del producto y con ello lograr buen precio de la producción. El uso de los equipos de refrigeración es fundamental para garantizar la cadena de frío de los peces en la etapa de cosecha hasta su respectiva comercialización. En

el Anexo B se muestra el equipo seleccionado y la potencia definida para el equipo. Con la potencia definida del equipo de refrigeración se define el perfil de carga característico del sistema de refrigeración, el cual debe estar ser constante las 24 horas del día con el fin de garantizar las condiciones de calidad del producto.

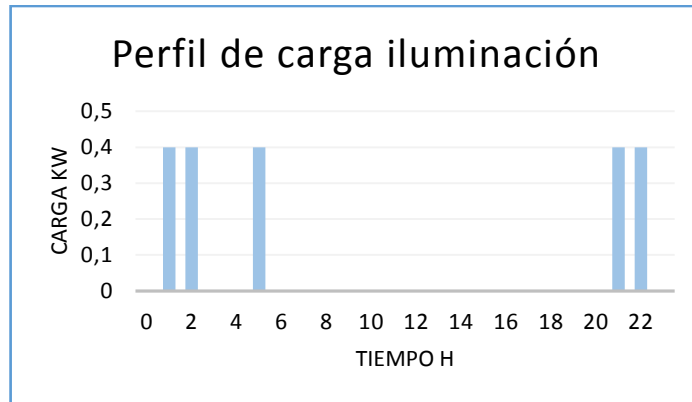
En la Figura 18 se muestra el perfil de carga para el proceso de refrigeración.

Figura 18: Perfil de carga equipo de refrigeración.



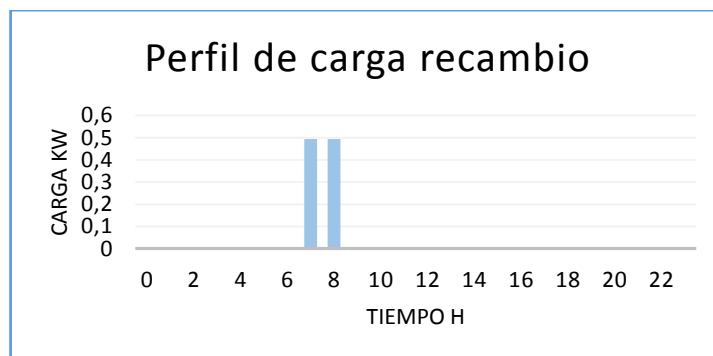
Iluminación: Los cultivos intensivos de piscicultura requieren un sistema de iluminación, el cual permita realizar controles periódicos de las condiciones del agua en los estanques donde se realiza el cultivo de los peces. En el Anexo C se realiza la selección de los equipos, se define la potencia necesaria para realizar el proceso de iluminación. Con la potencia requerida para el circuito de iluminación se define el perfil de carga mostrado en la Figura 19, se construye de tal forma que en periodos de máximo de dos horas el operario pueda hacer las revisiones pertinentes de la calidad del agua en un tiempo de 20 a 30 minutos por estanque.

Figura 19: Perfil característico de la carga para la iluminación del cultivo.



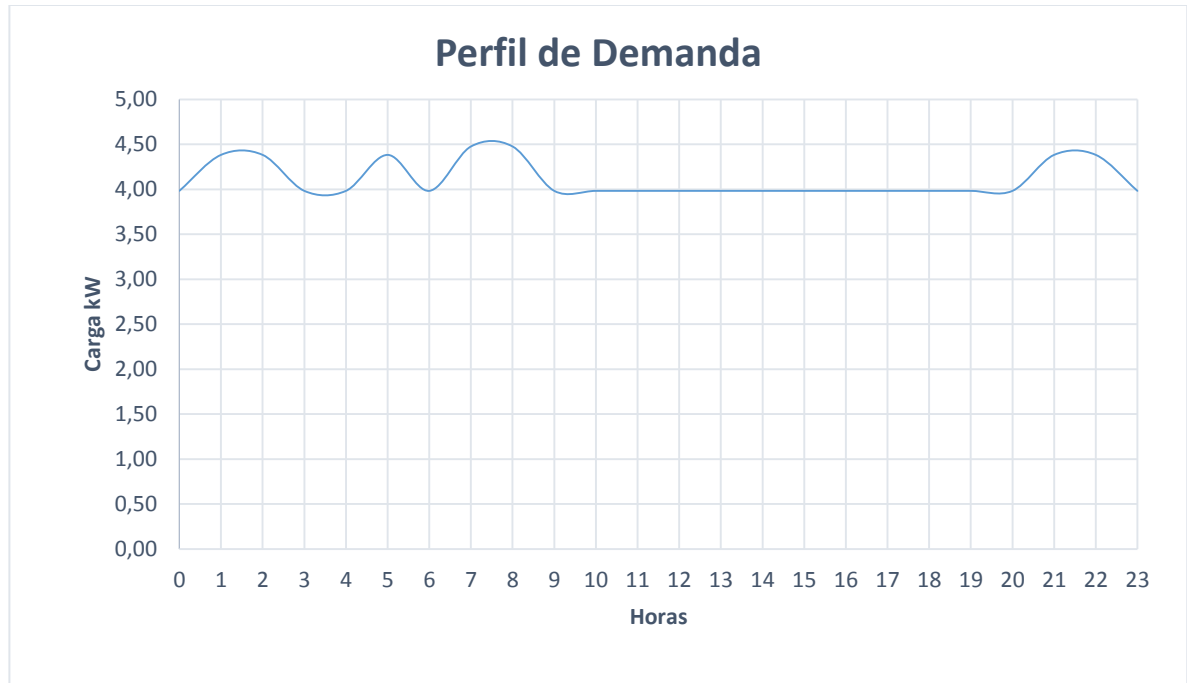
Recambio de agua: Según la metodología planteada en la Figura 13 se considerará que el porcentaje de vaciado se realizara por gravedad según prácticas comúnmente realizadas en las granjas piscícolas y que para el porcentaje de llenado se considerará contar con un equipo que realice este trabajo, la selección del equipo y su potencia se presentan en el Anexo D. El paso siguiente es definir el perfil de carga en función del porcentaje de recambio de agua, para los cuatro estanques se requiere cambiar 4976,29 L. Para este porcentaje de recambio se requiere un tiempo calculado de 63 minutos, el funcionamiento del equipo se estima es dos (2) horas, considerando tiempos de cambios de mangueras y otros contratiempos. El perfil de carga se muestra en la Figura 20.

Figura 20: Perfil de carga proceso de recambio de agua.



Continuando el desarrollo de la metodología planteada en la Figura 13, se construye el perfil de carga total del sistema que se muestra en la Figura 21, construido con los perfiles individuales por procesos que integran el sistema intensivo de piscicultura.

Figura 21: Perfil de carga total.



Del perfil de carga de la Figura 21, los cultivos de piscicultura intensiva presentan una curva de demanda de energía eléctrica muy uniforme, esto es debido a que los requerimientos de energía eléctrica son mayores para los procesos de aireación del agua contenida en los estanques de producción de peces, este proceso debe ser ininterrumpido durante las 24 horas del día. En la Figura 21 se observa el comportamiento de la curva de demanda eléctrica para el caso de estudio, en la cual se contempla tener ocho (8) toneladas de producción anuales, se presenta un pico de demanda de 4,48 kW y un consumo de energía eléctrica diario de 98,52 kWh/d.

4.1.2 Determinación del potencial solar fotovoltaico. Se definió realizar el estudio en el departamento de Santander. Se realiza un sondeo con la finalidad de determinar la información de datos meteorológicos disponible, se pudo confirmar que el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), cuenta con estaciones meteorológicas en el departamento de Santander, para poder contar con los datos se realizó una petición al IDEAM, el cual proporciona datos de las tres estaciones meteorológicas del departamento de Santander, ubicadas en los municipios de Mogotes, San Vicente y Vizcaína-Lizama. Estos datos eran para el periodo del año 2010 hasta el año 2014, lo siguiente fue determinar que estaciones contaban con todos los datos, se evidencio que ninguna de las estaciones tenia los 8760 datos horarios de un año, por lo cual se decide tomar la base de datos con mayor número de muestras que fue la estación de Mogotes Santander, que para el año 2013 tenía (8303 datos de radiación solar), el paso siguiente fue crear un archivo en Excel que contara con los 8760 datos de un años, paso siguiente fue completar los datos con la ayuda de la herramienta computacional Homer, la cual cuenta con la opción de importar datos y si existen datos faltantes tiene la opción de completar dichos datos, y luego calcular la radiación solar promedio día cuyas unidades son $[kW/m^2/día]$. Lo siguiente que se quiso realizar fue una comparación de las radiaciones promedio día con los datos de Internet de la agencia de Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA).

Para los datos de las dos fuentes de información se construyó la Tabla 11, en la que se presentan los resultados obtenidos para el IDEAM y para la agencia de Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA). En esta tabla se presenta la radiación solar promedio diaria $[kW/m^2/día]$ para los doce meses del año.

Tabla 11: Potencial solar zona de estudio datos con estación en sitio.

MES	Radiación diaria promedio [kWh/m ² /día]		Diferencia porcentual [%]
	IDEAM	NASA	
Enero	4,485	5,420	20,8
Febrero	4,286	5,370	25,3
Marzo	4,546	5,450	19,9
Abril	4,451	4,970	11,7
Mayo	3,881	4,960	27,8
Junio	4,170	5,080	21,8
Julio	4,183	5,180	23,8
Agosto	4,079	5,190	27,2
Septiembre	4,544	5,360	18,0
Octubre	4,145	4,980	20,1
Noviembre	3,826	4,940	29,1
Diciembre	4,006	5,100	27,3
Promedio	4,217	5,167	22,5

En la Tabla 11 se observa que la potencia solar fotovoltaica promedio día de Mogotes Santander según los datos suministrados por el IDEAM para esta zona es de 4,217 kW/m²/día. De los resultados presentados, los datos tomados de internet presentan mayor favorabilidad para la implementación de sistemas fotovoltaicos, estos datos presentan una radiación promedio día de 5,167 kW/m²/día, los datos de las fuentes de Internet y de datos de campo presentan una diferencia porcentual de 22,5%.

Para el estudio de la zona se selecciona trabajar con los datos medidos en campo proporcionados por el IDEAM.

4.1.3 Dimensionamiento de los componentes del sistema de generación fotovoltaico. Para el dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaica se considera como primer paso definir los escenarios que se quiere evaluar.

a) Red y sistema fotovoltaico.

- b) Red y generador diésel.
- c) Red, sistema fotovoltaico y generador diésel.
- d) Red, sistema fotovoltaico, baterías y generador diésel.
- e) Red, sistema fotovoltaico y baterías

Para la selección de la herramienta de simulación se tiene en consideración los escenarios que se desean valorar. Para la herramienta de simulación mencionadas en el capítulo 2.8. se revisaron las características principales de cada software, se opta por seleccionar la herramienta de simulación HOMER. Las ventajas que brinda HOMER es un análisis técnico y económico en función de las variables de entrada mencionadas en la fase dos (2), cuenta con un análisis de sensibilidad las cuales pueden ser de origen técnico o económico, versiones como la 3.5.4 dispone de una versión en idioma en español, la licencia para la versión de prueba es por treinta (30) días en los cuales se puede hacer usos del software sin restricciones.

Recopilación de los datos de entrada para los escenarios

Perfil de carga: El perfil de carga ingresado a la herramienta de simulación es el de un cultivo intensivo de piscicultura, el cual se caracterizó en la fase uno (1). El cual se presenta en la Figura 21.

Datos meteorológicos: Homer cuenta con una entrada de recursos, la cual puede ser descargada de Internet o puede ser importada en formato texto, los datos seleccionados para realizar el caso estudio se importaron en formato texto, esta base de datos fue proporcionada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de la estación meteorológica ubicada en el municipio de Mogotes, Santander.

Caracterización de los componentes a dimensionar. La caracterización de los componentes del sistema se realizó por medio del precio de dichos componentes y la ficha técnica de cada uno de ellos. La Tabla 12 presenta los precios de los equipos a considerar en el diseño, incluido el costo de instalación, según precios presentados en el Anexo G.

Tabla 12: Parámetro de equipos.

Equipo	Costo [\$]	Vida útil [años]
PANEL UP-M270P	828.060,0	25
INVERSOR GEMKS 5 kVA	5'947.611,2	15
BATERÍA DISCOVER 12 VRE-3000	1'111.928,0	18
GENERADOR DIESEL KDE6700TA3	5'160.000	

Panel UP-M270P. Para los valores de entrada este componente se ingresó el valor de adquisición e instalación del panel en dólares calculado en USD\$ 283 según la tasa de cambio del día 7 de octubre del presente año, y un costo de mantenimiento de USD\$ 2,7 según valores de mantenimiento predeterminados por Homer. Según la ficha técnica del fabricante el panel es de una potencia nominal de 270 W, eficiencia 16,6%, la vida útil de 25 años. En las entradas avanzadas se designó como ángulo de inclinación 10° [16], un valor de reflectancia del suelo de 20%, una orientación de 180° [17], un factor de utilización del 90%. El espacio de búsqueda se fijó en un valor de entre 0 a 20 kW con el fin de no limitar la búsqueda solo hasta el pico de la carga.

Inversor GEMKS 5 kVA. En los valores de entrada del inversor se calculó un costo por adquisición e instalación por un valor USD\$ 2033,5, mantenimiento por un valor de USD\$ 50 según valores de mantenimiento predeterminados por Homer, una vida útil de 15 años, una eficiencia del 93%, conexión al barraje de AC y un espacio de búsqueda de entre 0 a 5 kW.

Batería Discover 12 VRE-3000. Para la batería se cotizó un costo por concepto de adquisición e instalación de USD\$ 380, un costo por mantenimiento de USD\$ 10, una tensión nominal de 12 V, una capacidad de 245 Ah, vida útil de 18 años, eficiencia del 85% y un espacio de búsqueda de entre 0 a 50 de baterías, para que el software pueda elegir la opción más óptima para el diseño.

Generador diésel KDE6700TA. El costo de adquisición e instalación por kW del generador es de USD\$ 352,84, un costo de operación y mantenimiento por USD\$ 0,03. Una curva de combustible de según Anexo H.

Red eléctrica. Para la red simple se especificó el precio del kWh del mes de septiembre del presente año de USD\$ 0,162 y un costo de emisiones de USD\$ 0,388[tCO₂/MWh] según [18], variable que pide el programa. Para la red con precio en tiempo real, se especificó el precio de compra del kWh se tomó constante según tarifa del mes de septiembre y un precio de reventa de \$0.

Simulación. La herramienta de simulación Homer cuenta con una ventana en la cual se pueden ingresar variables de sensibilidad [15], esta variable permite precisar la incertidumbre que puede llegar a incurrir en la estimación de las configuraciones. Se precisaron seis (6) variables de sensibilidad, se tomaron valores sensibles de temperatura, precio del diésel [19], precio de la energía para el mes de septiembre del presente año, y valores de la tasa del descuento e interés efectivo para los años 2013,2014 y 2015. En la Tabla 13 se muestra los valores tomados para las variables de sensibilidad.

Tabla 13: Variables de sensibilidad

Temperatura Diaria Escalada [C°]	Precio del diésel [\$/L]	Tasa de descuento [%]	Interés efectivo anual [%]	Radiación diaria promedio [kW/m ² /día]	Precio de la potencia [\$/kWh]
17,16	0,542	3,25	1,94	3,826	0,156
17,9575	0,699	7,36	3,66	4,22	0,162
18,59	0,858	9,22	6,77	4,544	0,171

Con el uso de la herramienta Homer, se procede a realizar el dimensionamiento de los componentes teniendo en cuenta las variables de sensibilidad y los datos ingresados de los componentes. Se plantearon cinco escenarios de análisis, los cuales se describen a continuación.

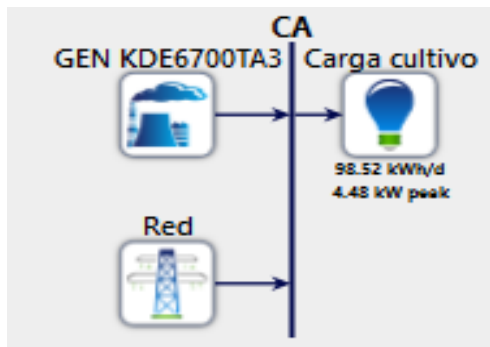
a) Red y sistema fotovoltaico.

Para este escenario se consideró evaluar el efecto que tiene la implementación de energía solar fotovoltaica en el consumo de energía eléctrica de la red tradicional. Para este escenario se consideró una red simple donde no se presenten interrupciones en el servicio de energía, este escenario no es factible para el caso estudio por el hecho de no contar con un sistema de respaldo ante una posible ausencia de energía, sin embargo se quiso realizar para mostrar los efectos de implementar un sistema fotovoltaico como alternativa en otros cultivos que no sea de modalidad intensiva como por ejemplo cultivos semi-intensivos que no requieren un suministro de energía de forma permanente, para tal fin se suministran los datos al software de, perfil de carga, datos de radiación solar y características de los componentes con los cuales se realizara la simulación. En el Anexo I se muestran los resultados obtenidos para esta configuración.

b) Red y generador diésel.

En este escenario se consideró un escenario con las limitaciones de la red eléctrica, las características del cultivo de piscicultura intensiva arrojan un perfil de carga en el cual se debe suministrar energía eléctrica las 24 horas del día para mantener en óptimas condiciones la producción. La configuración adoptada es red eléctrica con tarifas en tiempo real, para este caso se consideró tener la red con la tarifa del mes de septiembre del presente año, índices de tiempo de interrupción de un circuito (DES) y número de interrupciones de un circuito (FES), publicadas por la electrificadora de Santander (ESSA) [20]. En la Figura 22 se muestra la configuración del escenario.

Figura 22: Configuración red y generador diésel.



Tomado de: Homer Pro 3.5.4

Figura 23: Resultado de simulación con red y respaldo diésel.

Arquitectura				Costo				Sistema
GEN KDE6700TA3 (kW)	Red (kW)	Despacho	CDE (\$)	CAN (\$)	Costo de operación (\$)	Inversión inicial (\$)	Fracc. Ren. (%)	
5.00	35,960	CC	\$0.179	\$121,739	\$6,360	\$1,764	0.0050	
5.00		CC	\$0.416	\$282,305	\$14,871	\$1,764	0.0	

GEN KDE6700TA3					Red	
Hours	Production	Fuel (L)	O&M Cost	Fuel Cost	Energy Purchased	Energy Sold
583	2,386	974	87	835	33,571	0
8,760	35,959	14,671	1,314	12,588		

Tabla 14: Resumen de resultados red y generador diésel

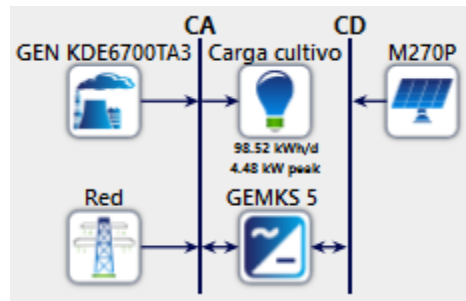
Capacidad instalada Gen (kW)	Inversión inicial (USD\$)	Tipo de despacho	Horas de operación	Producción anual Gen (kWh/año)	Compra de energía (kWh/año)
5	1764	CC	583	2386	33571

Los resultados de simulación mostrados en la Tabla 14 para los datos ingresados para el escenario, muestran que para la configuración de red y generador diésel solo hay una configuración factible, esto es debido a falta de capacidad de la red por causa de los apagones que presenta, Para esta configuración se requiere un generador con una capacidad instalada de 5 kW, sus horas de funcionamiento anual son 583 horas y tiene una producción anual de 2386 kWh/año. Las compras de energía de la red eléctrica suman 33571. El consumo de energía eléctrica anual de la red sin apagones sería de 35960 kWh/año, se puede observar que el generador solo despacha 2386 kWh/año, para suplir la falta de energía de la red.

c) Red, sistema fotovoltaico y generador diésel

Para esta configuración se busca evaluar el efecto que tiene la adición de un sistema fotovoltaico al consumo y los gastos asociados de tener un generador diésel como respaldo a las interrupciones de la red energía eléctrica en el cultivo de piscicultura intensiva. La configuración mencionada es presentada en la Figura 24, para esta configuración se tienen en cuenta las restricciones de la red de la configuración anterior. En la Figura 25 se muestran los resultados obtenidos de la configuración.

Figura 24: Configuración red, sistema fotovoltaico y generador diésel.



Tomado de: Homer Pro 3.5.4

Figura 25: Resultados configuración red, sistema fotovoltaico y generador diésel.

Arquitectura							Costo				Sistema
M270P (kW)	GEN KDE6700TA3 (kW)	Red (kW)	GEMKS 5 (kW)	Despacho	CDE (\$)	CAN (\$)	Costo de operación (\$)	Inversión inicial (\$)	Fracc. Ren. (%)		
12.1	5.00	35,960	5.00	CC	\$0.154	\$104,370	\$4,660	\$16,467	30		
	5.00	35,960		CC	\$0.179	\$121,739	\$6,360	\$1,764	0.0050		
20.0	5.00		5.00	CC	\$0.320	\$217,341	\$10,209	\$24,762	35		
GEN KDE6700TA3					M270P		GEMKS 5		Red		
Hours	Production	Fuel (L)	O&M Cost	Fuel Cost	Capital Cost	Production	Rectifier Mean Output	Inverter Mean Output	Energy Purchased	Energy Sold	
527	1,651	674	79	578	12,670	15,629	0	1	23,346	0	
583	2,386	974	87	835					33,571	0	
6,814	23,260	9,490	1,022	8,142	20,964	25,861	0	1			
8,760	35,959	14,671	1,314	12,588							

Tabla 15: Resumen de resultados red, sistema fotovoltaico y generador diésel.

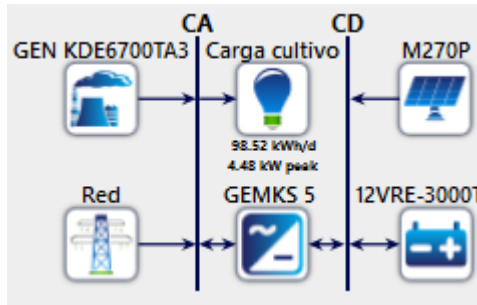
Capacidad instalada FV (kW)	Cantidad de Baterías	Tipo de despacho	Inversión inicial (USD\$)	Penetración renovable (%)	Producción anual FV (kWh/año)	Producción anual Gen	Compra de energía (kWh/año)
12.1	0	CC	16.467	30	15629	1651	23346

La Tabla 15 muestra el resumen de resultados de simulación para los datos ingresados para el escenario, se observa que, para la configuración de red, sistema fotovoltaico y generador diésel el resultado más óptimo según el menor costo presente neto (VPN), contar con un sistema de una capacidad instalada de 12.1 kW, esta cantidad de potencia instalada se divide en la potencia nominal de cada panel y el resultado es un sistema con 45 paneles. Para esta capacidad instalada mencionada la penetración de renovables es de 30%, para esta capacidad el sistema fotovoltaico genera 15629 kWh/año de energía eléctrica anual.

d) Red, sistema fotovoltaico, generador diésel y baterías.

En este escenario se consideró las limitaciones de la red eléctrica planteadas en el escenario (b). Se consideró evaluar la posibilidad de contar con el sistema de respaldo planteado en el escenario (b) y un sistema fotovoltaico con baterías, con esto se quiere hallar cual es el mejor sistema de respaldo para la aplicación según los resultados de optimización de la herramienta de simulación y el menor valor presente neto (VPN). La configuración para el escenario se muestra en la Figura 26.

Figura 26: Esquema de configuración de red, sistema fotovoltaico y baterías



Tomado de: Homer Pro 3.5.4

Los resultados de simulación para el escenario se presentan en la Figura 27, con esta ventana de resultados se realiza la Tabla 16 en la que se muestra el resumen de resultados de la figura 27.

Figura 27: Resultados de simulación configuración red, sistema fotovoltaico, generador diésel y baterías.

Arquitectura								Costo				Sistema	
M270P (kW)	GEN KDE6700TA3 (kW)	12VRE-3000T F-L	Red (kW)	GEMKS 5 (kW)	Despacho	CDE (\$)	CAN (\$)	Costo de operación (\$)	Inversión inicial (\$)	Fracc. Ren. (%)			
13.0	5.00	6	35,960	5.00	LF	\$0.153	\$103,706	\$4,452	\$19,728	38			
12.0	5.00		35,960	5.00	CC	\$0.154	\$104,370	\$4,663	\$16,413	30			
12.7		23	35,960	5.00	CC	\$0.163	\$110,177	\$4,564	\$24,084	32			
	5.00		35,960		CC	\$0.179	\$121,739	\$6,360	\$1,764	0.0050			

GEN KDE6700TA3				M270P			12VRE-3000TF-L					GEMKS 5			Red	
Hours	Production	Fuel (L)	O&M Cost	Fuel Cost	Capital Cost	Production	Autonomy	Annual Throughput	Lifetime	Capital Cost	Replacement Cost	O&M Cost	Rectifier Mean Output	Inverter Mean Output	Energy Purchased	Energy Sold
437	1,438	587	66	503	13,650	16,838	3.0	2,853	7	2,281	2,281	60	0	2	20,892	0
528	1,652	674	79	578	12,615	15,562							0	1	23,363	0
					13,306	16,414	12	1,988	18	8,744	8,744	230	0.1	1	24,402	0
583	2,386	974	87	835											33,571	0

Tabla 16: Resumen de resultados en configuración red, sistema fotovoltaico, generador diésel y baterías.

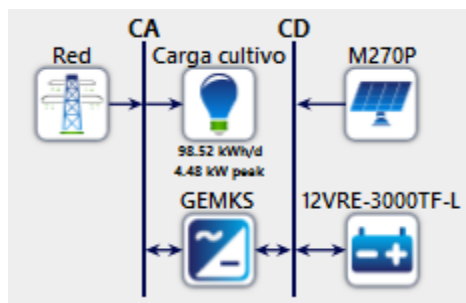
Capacidad instalada FV (kW)	Cantidad de baterías	Tipo de despacho	Inversión inicial (USD\$)	Penetración renovable (%)	Producción anual FV (kWh/año)	Producción anual Gen (kWh/año)	Compra de energía (kWh/año)
13	6	LF	19728	38	16838	1438	20892

Los resultados de simulación para los datos ingresados para el escenario, muestran que, para la configuración de red, sistema fotovoltaico, generador diésel y baterías, el resultado más óptimo según el menor costo presente neto (VPN) con una estrategia de despacho de seguimiento de carga (LF), es tener un sistema fotovoltaico con una capacidad instalada de 13 kW, Para esta cantidad de potencia se requieren 48 paneles. Para la capacidad instalada mencionada la penetración de renovables es de 38%, el sistema fotovoltaico genera 16838kWh/año de energía eléctrica anual, el generador produce 1438 kWh/año por concepto de las interrupciones de la red eléctrica, las compras de energía a la red eléctrica se reducen a 20892 kWh/año.

e) Red, sistema fotovoltaico y baterías.

En esta configuración se pretende encontrar el consumo y los gastos asociados a tener un banco de baterías como respaldo a las interrupciones del servicio de energía eléctrica en las que incurre el cultivo de piscicultura intensiva. Para esta configuración presentada en la Figura 28, se tiene las restricciones de la red de la configuración anterior. En la Figura 29 se muestran los resultados obtenidos de la configuración.

Figura 28: configuración red, sistema fotovoltaico y baterías.



Tomado de: Homer Pro 3.5.4

Los resultados de la configuración adoptada para este escenario se muestran en la Figura 29, donde el software muestra la configuración más óptima para el sistema según el menor valor presente neto (VPN). En la Tabla 17 se muestra de forma más clara los resultados de la Figura 29.

Figura 29: Resultado simulación red, sistema fotovoltaico y baterías.

Arquitectura							Costo				Sistema
M270P (kW)	12VRE-3000T F-L	Red (kW)	GEMKS 5 (kW)	Despacho	CDE (\$)	CAN (\$)	Costo de operación (\$)	Inversión inicial (\$)	Fracc. Ren. (%)		
12.7	23	35,960	5.00	CC	\$0.163	\$110,177	\$4,564	\$24,084	32		
	50	35,960	5.00	CC	\$0.223	\$151,332	\$6,907	\$21,042	0.0		
M270P			12VRE-3000TF-L				GEMKS 5		Red		
Capital Cost	Production	Autonomy	Annual Throughput	Lifetime	Capital Cost	Replacement Cost	O&M Cost	Rectifier Mean Output	Inverter Mean Output	Energy Purchased	Energy Sold
13,306	16,414	12	1,988	18	8,744	8,744	230	0.1	1	24,402	0
		25	2,940	18	19,008	19,008	500	0.4	0.3	36,912	0

Tabla 17: Resumen de resultados en configuración red, sistema fotovoltaico y baterías.

Capacidad instalada FV (kW)	Cantidad de Baterías	Tipo de despacho	Inversión inicial (USD\$)	Penetración renovable (%)	Producción anual FV (kWh/año)	Compra de energía (kWh/año)
12,7	23	CC	24.084	32	16414	24402

La tabla 17, se muestra el resumen de resultados de simulación para los datos ingresados para el escenario, se observa que para la configuración de red, sistema fotovoltaico y baterías para una estrategia de despacho de ciclo de carga (CC) en la cual la red ayuda a cargar las baterías. El mejor resultado según el menor costo presente neto (VPN), es tener un sistema con una capacidad instalada de 12,7 kW, esta cantidad de potencia instalada se divide en la potencia nominal de cada panel y el resultado es un sistema con 47 paneles con un sistema de respaldo con 23 baterías. Para la capacidad instalada mencionada la penetración de renovables es de 32%, para lo cual el sistema fotovoltaico genera 16414 kWh/año de energía eléctrica anual.

Los resultados de simulación son para el caso de sensibilidad donde la tasa de descuento es de 9,22%, precio del diésel de 0,858 \$/L, tasa de inflación de 6,77%, una radiación promedio diaria de 4,22 kW/m²/día.

4.1.4 Determinación del sistema de respaldo de energía eléctrica para el caso estudio. Para el desarrollo de esta etapa se plantea tener cuatro posibles escenarios, el primero es que el cultivo de la zona de estudio sea conectado a la red y tenga un respaldo diésel. El segundo es tener un sistema conectado a la red, generación fotovoltaica y respaldo con generador diésel, el tercer escenario es tener la red, un sistema fotovoltaico, generador diésel y baterías, y un sistema con la red, sistema fotovoltaico y respaldo con baterías. Para la condición mencionada es necesario saber las horas de interrupción y el número aproximado de horas de interrupción presentadas en la zona de estudio, para este propósito se recurre los índices DES y FES mencionados y presentados en la Tabla H1 del Anexo H. En la Tabla 18 se muestran los aspectos más importantes de los cuatro escenarios que consideran las limitaciones de la red eléctrica.

Tabla 18: Tabla comparativa de las configuraciones.

Configuración del sistema	Capacidad instalada FV (kW)	Numero de baterías	Tipo de despacho	Inversión inicial (USD\$)	Penetración renovable (%)	Producción anual FV (kWh/año)	Producción anual Gen (kWh/año)	Compra de energía (kWh/año)
R+D	0	0	CC	1764	0	0	2386	33571
R+FV+D	12,1	0	CC	16467	30	12670	1651	23346
R+FV+B+D	13	6	LF	19728	38	16838	1438	20892
R+FV+B	12,7	23	CC	24084	32	16414	0	24402

R: Red eléctrica.

FV: Sistema fotovoltaico.

D: Generador diésel.

B: Baterías.

De la Tabla 18 se puede apreciar que la inversión inicial por tener un respaldo diésel es de USD\$ 1764 con lo cual compensa su falta de capacidad de la red de

2386 kWh/año. Contar con respaldo de baterías con una estrategia de despacho de ciclo de carga (CC) en la cual las baterías toman energía de la red y del sistema fotovoltaico para recargarse, le cuesta una inversión inicial de USD\$ 24084. El sistema fotovoltaico tendría una producción de 16414 kWh/año con lo cual las compras de energía de la red descienden a 24402 kWh/año. Para el sistema donde se cuenta con un sistema fotovoltaico, respaldo diésel y baterías, la inversión inicial es menor comparado con el de respaldo con baterías, la penetración de renovables es mayor, este resultado muestra que es más factible desde el punto de vista técnico por el hecho de que los excedentes de energía del sistema fotovoltaico se almacenan en la batería y se obtiene mayor penetración de renovables con 38%. El sistema fotovoltaico tendría una capacidad instalada de 13 kW y seis baterías para el almacenamiento de la energía excedente de los paneles, un generador diésel para suplir las interrupciones de la red eléctrica.

4.1.5 Análisis de costo de inversión y tiempo de recuperación para el sistema integrado de generación de energía eléctrica para el caso en estudio. Para el análisis de costos de inversión se tiene en cuenta las políticas e incentivos mencionados en la ley 1715 del año 2014, en la cual mencionan las excepciones del IVA para proyectos de energías renovables. En esta ley también se mencionan otras excepciones en impuesto, como por ejemplo disminución en los impuestos de renta para empresas que implementen estas energías [21].

Evaluación económica de los escenarios planteados

Para la evaluación económica de los escenarios se considera una tasa de inflación de 6,77% y una tasa de descuento 9,22%. La evaluación económica se realiza teniendo en cuenta la metodología de la fase cinco, con la ayuda del software de simulación Homer, tomando como caso base la red y el generador diésel por ser el sistema que se acostumbra instalar para proporcionar el respaldo de energía eléctrica. Este caso base se evalúa respecto de los demás escenarios

desarrollados en la fase tres, se realizará un análisis de costo de inversión y tiempo de recuperación teniendo en cuenta el flujo de dinero ahorrado obtenido de la comparación del caso base con las configuraciones planteadas en la fase tres.

Los resultados muestran el valor de la diferencia entre las dos opciones tomando en cuenta los costos del ciclo de vida de los dos sistemas. Para dicha evaluación económica se tiene en cuenta el costo del kWh de la energía eléctrica del mes de septiembre del presente año [20].

Caso base red y generador diésel.

Para la evaluación del escenario donde el piscicultor cuenta con una red eléctrica que le suministra la energía y tiene un sistema de respaldo para las interrupciones de la red, el costo asociado a su sistema se presenta en las Tablas 19 y 20, el piscicultor tendrá ingresos por su generación diésel en los periodos de ausencia de la red, estos ingresos se muestran en la Tabla 21.

Tabla 19: Costo de suministro e instalación de equipos.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo del sistema [\$]
Generador KDE6700TA3	un	1	4'448.275,9	4'448.275,9
Subtotal				4'448.275,9
IVA				711.724,1
Total				5'160.000,0

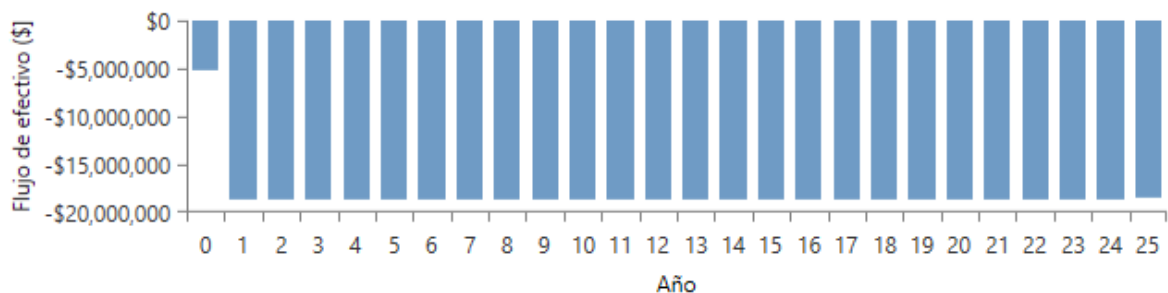
Tabla 20: Costos anuales de la red y el generador diésel.

Sistema	Compras de energía [\$]	Mantenimiento [\$]	Combustible [\$]	Total [\$]
Red eléctrica	15'924.404,8	-	-	15'924.403,8
Generador KDE6700TA3	-	254.457,6	2'442.208,0	2'696.665,6
Total				18'621.069,5

Tabla 21: Ingresos anuales del generador diésel.

Sistema	Producción anual [kW/h]	Precio [kW/h]	Total [\$]
Generador diésel	2386	474,35	1'131.799,1
Total			1'131.799,1

Figura 30: Flujo de efectivo de la red y el generador diésel.



Para este escenario el flujo de efectivo presentado en la Figura 30, se observa que los egresos son mayores que los ingresos, por lo tanto, no va tener un tiempo de recuperación de la inversión, se deberá cuantificar con las pérdidas en las que incurriría el piscicultor por no tener un sistema de respaldo

Red, sistema fotovoltaico y generador diésel.

Para el escenario donde el piscicultor cuenta con una red eléctrica, un sistema fotovoltaico y tiene un sistema de respaldo para las interrupciones de la red, los

costos asociados al sistema se presentan en las Tablas 22 y 23, el piscicultor tendrá ingresos por el sistema fotovoltaico netos teniendo en cuenta las pérdidas en el inversor, y por el generador diésel en ausencia de la red eléctrica, estos ingresos se muestran en la Tabla 24.

Tabla 22: Costos de suministro e instalación de los equipos.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo del sistema [\$]
Panel UP-M270P	Un	45	828.059,96	37'262.698,45
Inversor GEMKS 5 kVA	Un	1	5'947.606,01	5'947.606,01
Generador KDE6700TA3	Un	1	4'448.275,86	4'448.275,86
Subtotal				47'658.580,32
IVA				711.724,14
Total				48'370.304,46

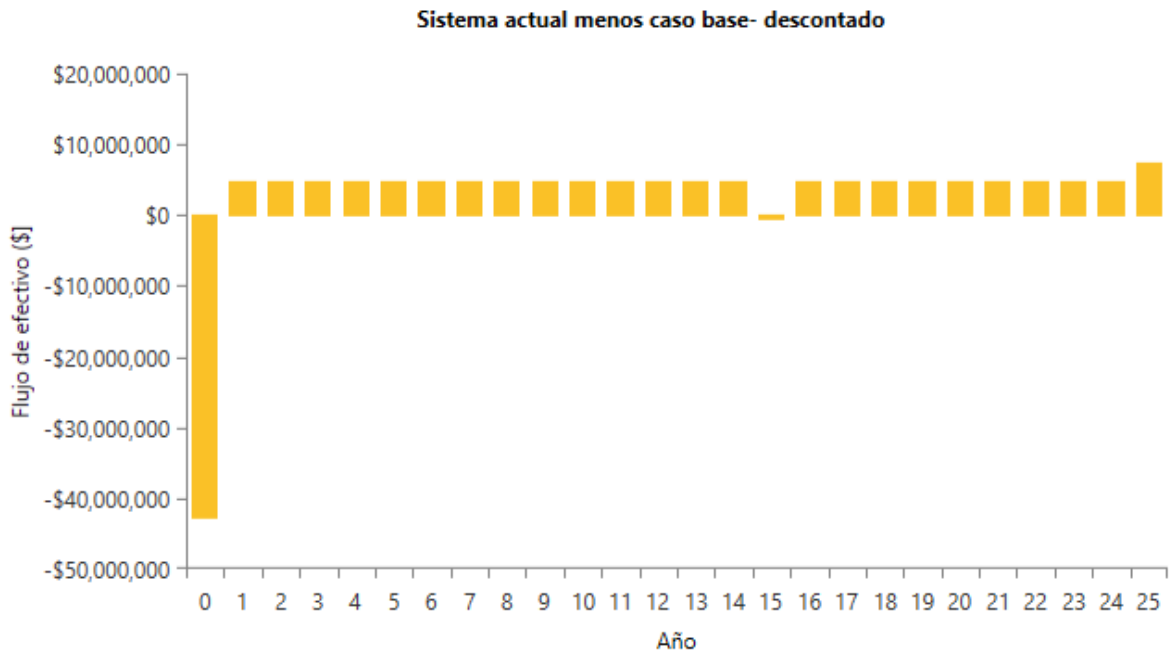
Tabla 23: Costos anuales del sistema red, sistema fotovoltaico y generador diésel.

Sistema	Compra de energía [\$]	Mantenimiento [\$]	Combustible [\$]	Total [\$]
Red eléctrica	11'074.175,1	-	-	11'074.175,1
Panel UP-M270P	-	355.363,2	0	355.363,2
Inversor GEMKS 5 kVA	-	146.240,0	0	146.240,0
Generador KDE6700TA3	-	231.059,2	1'690.534,4	1'921.593,6
Total				13'497.371,9

Tabla 24: Ingresos anuales del sistema fotovoltaico y el generador diésel.

Sistema	Producción anual [kWh/año]	Precio [kW/h]	Ingreso anual sistema [\$]	Total [\$]
Sistema fotovoltaico	10963	474,35	5'200.299,05	5'200.299,05
Generador diésel	1651	474,35	783.151,85	783.151,85
Total				5'983.450,90

Figura 31: Flujo de efectivo obtenido de la red, sistema fotovoltaico y generador diésel.



Para el flujo de caja mostrado en la en la Figura 31 donde está el sistema menos el caso base, el tiempo de recuperación de la inversión para el flujo de caja mostrado en la de nueve años y cinco meses, con una tasa interna de retorno de 10,7%.

Red, sistema fotovoltaico, generador diésel y baterías.

Para el escenario donde el piscicultor cuenta con una red eléctrica, un sistema fotovoltaico y pose un sistema de respaldo para las interrupciones de la red el costo asociado al sistema se presenta en las Tablas 25 y 26, el piscicultor tendrá ingresos por su generación fotovoltaica, egresos y unos ingresos por su generación a diésel en los periodos de ausencia de la red, estos ingresos se muestran en la Tabla 27.

Tabla 25: Costos de suministro e instalación de los equipos.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo del sistema [\$]
Panel UP-M270P	Un	49	828059.9655	39'746.878,34
Batería Discover 12 VRE-3000	Un	6	1'111,928	6'671.569,41
Inversor GEMKS 5 kVA	Un	1	5'947.606,01	5'947.606,01
Generador KDE6700TA3	Un	1	4'448.275,86	4'448.275,86
Subtotal				56'814.329,63
IVA				711.724,14
Total				57'526.053,77

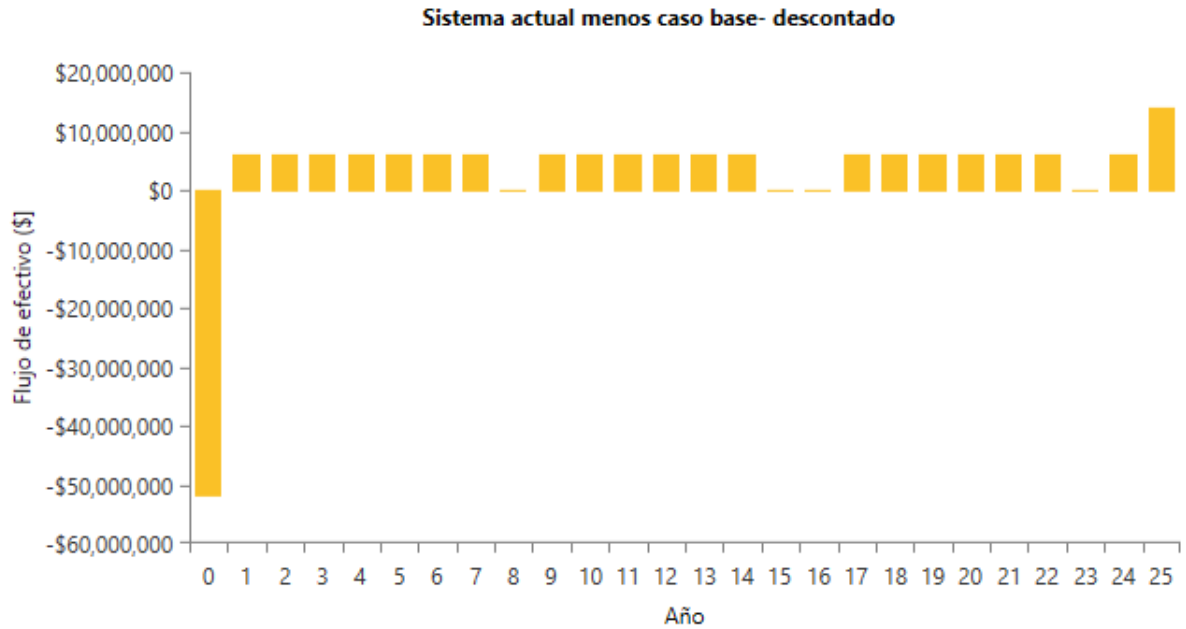
Tabla 26: Costos anuales del sistema red, sistema fotovoltaico generador diésel y baterías.

Sistema	Compra de energía [\$]	Mantenimiento [\$]	Combustible [\$]	Total [\$]
Red eléctrica	9'910.120,20	-	-	9'910.120,20
Panel UP-M270P	-	379.054,08	-	379.054,08
Batería Discover 12 VRE-3000	-	175.488,00	-	175.488,00
Inversor GEMKS 5 kVA	-	146.240,00	-	146.240,00
Generador KDE6700TA3		193.036,80	1'471.174,40	1'664.211,20
Total				12'275.113,48

Tabla 27: Ingresos anuales del sistema fotovoltaico, generador diésel.

Sistema	Producción anual [kWh/año]	Precio [kW/h]	Ingreso anual sistema [\$]	Total [\$]
Sistema fotovoltaico	13630	474,35	6'465.390,5	6'465.390,5
Generador diésel	1438	474,35	682.115,3	682.115,3
Total				7'147.505,8

Figura 32: Flujo de efectivo de la configuración red, sistema fotovoltaico, generador diésel y baterías



Para el flujo de efectivo mostrado en la Figura 32, se observa que en los años ocho y dieciséis se debe realizar una inversión producto del remplazo de las cinco baterías del sistema, el tiempo de recuperación de la inversión para el flujo de caja mostrado es de 10 años y cinco meses con una tasa interna de retorno de 9,8%.

Red eléctrica, sistema fotovoltaico y baterías.

Para la configuración de red eléctrica, sistema fotovoltaico y baterías, los costos de suministro e instalación se presentan en la Tabla 28. También se muestran los costos de operación y mantenimiento del sistema e ingresos obtenidos por tener implementado el sistema fotovoltaico, se presentan en las tablas 29 y 30.

Tabla 28: Costos de suministro e instalación de equipos.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo del sistema [\$]
Panel UP-M270P	Un	47	828.059,97	38'918.818,38
Inversor GEMKS 5	Un	1	5'947.606,01	5'947.606,00
Batería Discover 12 VRE-3000	Un	23	1'111.928,24	25'574.349,42
Subtotal				70'440.773,81
IVA				0
Total				70'440.773,81

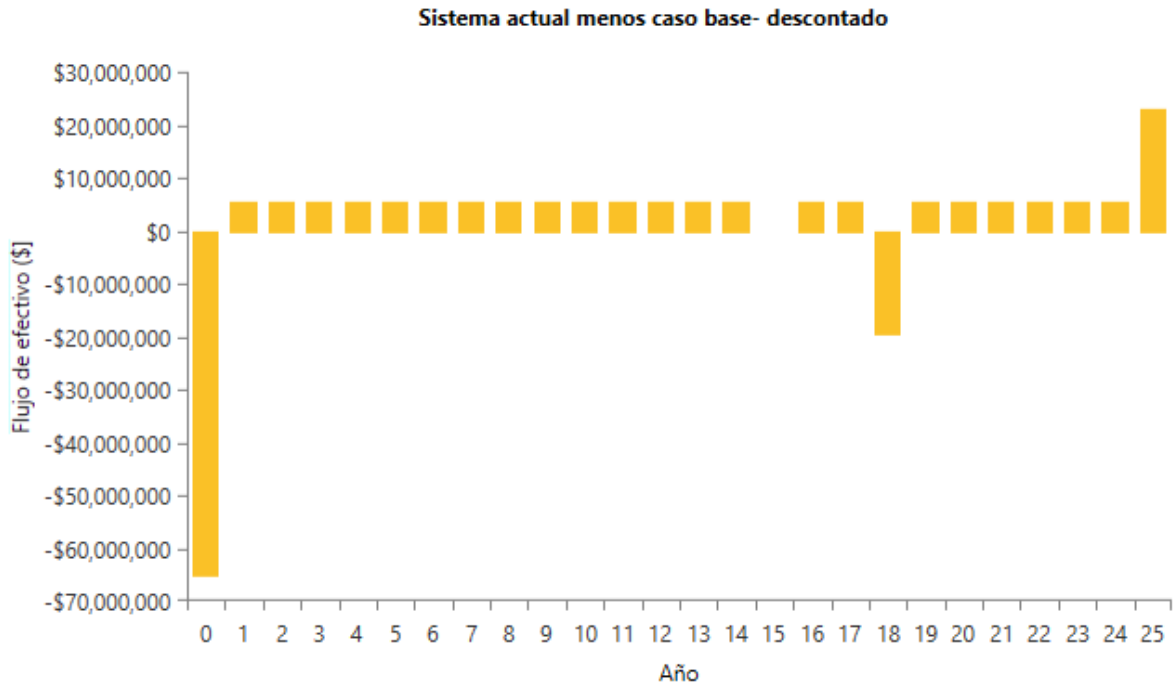
Tabla 29: Costos anuales por concepto del sistema red, sistema fotovoltaico y baterías.

Sistema	Compra de energía [\$]	Mantenimiento [\$]	Combustible [\$]	Total [\$]
Red eléctrica	11'575.089,0	-	-	11'575.089,00
Panel UP-M270P	-	371.157,12	-	371.157,12
Batería Discover 12 VRE-3000	-	672.704,00	-	672.704,00
Inversor GEMKS 5 kVA	-	146.240,00	-	146.240,00
Total				12'765.189,8

Tabla 30: Ingresos anuales del sistema de generación fotovoltaica.

Sistema	Producción anual [kW/h]	Precio [kW/h]	Ingreso anual sistema [\$]	Total [\$]
Fotovoltaico	11558	474,35	5'482.537,0	5'482.537,0
Total				5'482.537,0

Figura 33: Flujo de efectivo de la configuración red, sistema fotovoltaico y baterías.



Del flujo de efectivo mostrado en la Figura 33 se puede apreciar que en los años 15 y 18 el flujo de caja presenta unos costos de reposición del inversor y el banco de baterías. Para este flujo de caja, el tiempo de recuperación de la inversión es de 13 años, con una tasa interna de retorno de 6,4%

Tabla 31. Resumen de costos e ingresos del caso base.

Configuración	Inversión Inicial [\$]	Egresos anuales red [\$]	Egresos anuales respaldo [\$]	Ingresos anuales [\$]	TIR [%]	Tiempo de recuperación	
						Años	Meses
R+D	5'160.000,0	15'924.403,8	2'696.665,6	1'131.799,1	-	-	-
R+FV+D	48'370.304,46	11'074.175,1	2'423.196,8	5'983.450,90	10,7	9	5
R+FV+D+B	57'526.053,77	9'910.120,20	2364993,28	7'147.505,8	9,8	10	5
R+FV+B	70'440.773,81	11'575.089,00	1'190.101,1	5'482.537,0	6,4	13	0

R: Red eléctrica

FV: Sistema fotovoltaico.

D: Generador diésel

B: Baterías

De la Tabla 31 se puede apreciar que para el escenario base de la red y generador diésel, los costos de operación, mantenimiento y consumo de combustible superan los ingresos de producción del generador, por este motivo este sistema no presenta tiempo de retorno de la inversión. La opción de cambiar de sistema de respaldo con generador diésel por un sistema fotovoltaico con almacenamiento con baterías, es rentable por tener una tasa interna de retorno positiva, pero presenta un tiempo de recuperación mayor si se compara con el de respaldo sistema fotovoltaico y diésel. La mejor configuración según el menor tiempo de retorno que es de nueve años y cinco meses, es tener red, sistema fotovoltaico y generador diésel, con esta configuración se logra contar con el sistema de respaldo y además se obtienen ingresos anuales por \$5'983.450,90 con los cuales se logra pagar el sistema fotovoltaico y el sistema de respaldo del cultivo.

5. CONCLUSIONES

En Los cultivos de piscicultura intensiva es indispensable contar con un suministro continuo de energía eléctrica con el fin de garantizar el ciclo productivo de la especie cultivada en los estanques. En el análisis para el cálculo del perfil de carga, muestra que la carga critica la suministran los equipos de aireación con 3.722 kW de los 4.48 kW de potencia pico. Por este motivo las instalaciones eléctricas y sistemas de respaldo deben estar enfocados y en la capacidad de suministrar energía eléctrica de forma continua, y poder lograr el propósito de mantener las condiciones de oxígeno del agua, del contrario la producción contenida en los estanques de geomembrana se afectaría gravemente e incurriría en pérdidas parciales o totales de la producción según las horas sin el suministro del fluido eléctrico.

Realizar estimaciones con los datos descargados de internet podría causar valoraciones inexactas del sistema, con lo cual se incurriría en no contar con la capacidad eléctrica instalada que se esperaría para un proyecto de sistemas fotovoltaicos. Para el caso estudio, los datos medidos de campo presentaban un potencial de radiación promedio diaria 4,22 kW/m²/día, los datos descargados de internet presentan una radiación promedio diaria de 5,17 kW/m²/día, estos dos datos presentan una diferencia porcentual del 22,5%. Con esto se afirma que realizar estimaciones con fuentes de Internet estaría causando una inexactitud en el dimensionamiento del sistema.

El uso de sistemas de generación fotovoltaicos representan una alternativa económica y técnicamente viable, al disminuir los costos de la energía comprada a la red, un cultivo de piscicultura intensiva en el que su respaldo sea con generación diésel y tenga generación fotovoltaica, muestra un buen potencial de

inversión por el hecho de presentar un tiempo de recuperación de la inversión de 9 años y cinco meses, y una tasa interna de retorno de 10,7%, este sistema es el que menor tiempo de recuperación si se compara con los otros sistema mostradas en la Tabla 31.

Por la naturaleza de la carga, en la que se observa que tiene un perfil continuo las 24 horas del día, esto conlleva a que en la evaluación económica del escenario donde la configuración es red, sistema fotovoltaico y generador diésel, tenga un tiempo de recuperación de la inversión de 9 años y cinco meses, si la carga tuviera un comportamiento en el que el requerimiento de energía eléctrica fuera mayor en las horas que esté presente la luz solar, este tiempo de recuperación de la inversión sería menor, y el proyecto presentaría mayor factibilidad.

6. RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS DE GRADO

En proyectos de generación fotovoltaica se recomienda realizar los estudios con datos medidos en campo, estos datos presentan menores errores a la hora de realizar estimaciones del potencial energético de la zona en la cual se quiera realizar el estudio.

Para la realización de proyectos que involucren sistemas fotovoltaicos, es recomendable realizar un estudio previo de la zona, para poder saber si la zona es apta para la implementación de estas tecnologías.

Para la implementación de tecnologías fotovoltaicas en cultivos de piscicultura intensiva se recomienda utilizar una estrategia para el proceso de arranque de motores, como por ejemplo variadores de velocidad o autotransformadores.

Para futuros trabajos se sugiere abordar la temática de auditoria energética para los cultivos intensivos de piscicultura que involucren sistemas de generación fotovoltaicos, así como la implementación de las políticas de estado promulgadas en la ley 1715 del año 2014 y los impuestos al carbono.

La temática con respecto al análisis e implementación de sistemas de control en los parámetros fisicoquímicos del agua, se sugiere como alternativa de estudio en un futuro trabajo de grado, por el hecho de que en Santander los cultivos de piscicultura intensiva visitados no cuentan con estos sistemas.

REFERENCIAS.

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura, «FAO,» [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y5751s/y5751s08.htm>. [Último acceso: 5 agosto 2016].
- [2] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, «Plan Nacional para el desarrollo de la acuicultura sostenible en Colombia,» Bogotá D.C., 2014.
- [3] M. C. Merino Archila, G. Salazar Ariza y D. Gómez León, Guía práctica de piscicultura en Colombia, Bogotá, D.C., 2006.
- [4] Uruguay. Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, Manual básico de piscicultura en estanques, Montevideo: DINARA-FAO, 2010.
- [5] J. Malpartida Pasco, Curso Piscicultura y Aireación.
- [6] Efecto fotovoltaico, [En línea]. Disponible en: https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_03.htm [Último acceso: 20 de octubre 2016].
- [7] G.A. Osma Pinto, Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio de eléctrica II de la universidad industrial de Santander, Bucaramanga: Universidad industrial de Santander, 2011.

- [8] F. J. Gimeno Sales, S. Seguí Chilet y S. Orts Grau, Convertidores electrónicos: Energía solar fotovoltaica, España: Universidad Politécnica de Valencia, 2002.
- [9] M. Á. Sánchez Maza, Energía Solar Fotovoltaica, México: Limusa, 2012.
- [10] M. C. Tobajas Vázquez, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Cano Pina, 2012.
- [11] A. L. López de Ponce, Necesidades energéticas y propuesta de instalaciones solares, Malaga: IC Editorial, 2013.
- [12] E. Fernández, P. Eguia, I. Zamora y J. Mazón, «Herramientas de simulación Demo para su aplicación en laboratorios docentes de ingeniería eléctrica,» Departamento de ingeniería, Universidad del país Vazco.
- [13] System Advisor Model, «SAM,» [En línea]. Disponible en: <https://sam.nrel.gov/>. [Último acceso: 15 de octubre 2016].
- [14] P. Lilienthal, Innovation for Our Energy Future, Colorado, 2004.
- [15] Homer v2.0, Guía de Inicio Homer Versión 2.0, 2003.
- [16] A. M. Oviedo Pinzón y O. A. Arenas Santamaría, Estudio técnico y financiero de implementación de paneles solares enfocado a centros comerciales, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009.
- [17] F. C. Cala Gonzales y C. A. Rodríguez Sañudo, Diseño de un sistema de suministro de eléctrica con tecnología fotovoltaica, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2010.

[18] Unidad de Planeación Minero Energética, «Factores de Emisión del S.I.N. Sistema Interconectado Nacional Colombia 2014.».

[19] Ministerio de Minas y Energías, «MINMINAS,» [En línea]. Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/precios-de-combustible>. [Último acceso: 10 Octubre 2016].

[20] ESSA, «Electrificadora de Santander,» [En línea]. Disponible en: <http://www.essa.com.co/site/clientes/es-es/tarifas/consultartarifas.aspx>. [Último acceso: 7 octubre 2016].

[21] Baker & McKenzie, «Bondades de la ley 1715 de 2014».

BIBLIOGRAFÍA

AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA, «Plan Nacional para el desarrollo de la acuicultura sostenible en Colombia,» Bogotá D.C., 2014.

BAKER & MCKENZIE, «Bondades de la ley 1715 de 2014».

CALA GONZALES F. C. y RODRÍGUEZ SAÑUDO C. A., Diseño de un sistema de suministro de eléctrica con tecnología fotovoltaica, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2010.

ESSA, «ELECTRIFICADORA DE SANTANDER,» [En línea]. Disponible en: <http://www.essa.com.co/site/clientes/es-es/tarifas/consultartarifas.aspx>. [Último acceso: 7 octubre 2016].

FERNÁNDEZ E., EGUÍA P., ZAMORA I. y MAZÓN J., «Herramientas de simulación Demo para su aplicación en laboratorios docentes de ingeniería eléctrica,» Departamento de ingeniería, Universidad del país Vazco.

GIMENO SALES F. J., SEGUÍ CHILET S. y ORTS GRAU S., Convertidores electrónicos: Energía solar fotovoltaica, España: Universidad Politécnica de Valencia, 2002.

HOMER V2.0, Guía de Inicio Homer Versión 2.0, 2003.

LILIENTHAL P., Innovation for Our Energy Future, Colorado, 2004.

LÓPEZ DE PONCE A. L., Necesidades energéticas y propuesta de instalaciones solares, Malaga: IC Editorial, 2013.

MALPARTIDA PASCO J., Curso Piscicultura y Aireación.

MERINO ARCHILA M. C., SALAZAR ARIZA G. y GÓMEZ LEÓN D., Guía práctica de piscicultura en Colombia, Bogotá, D.C., 2006.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍAS, «MINMINAS,» [En línea]. Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/precios-de-combustible>. [Último acceso: 10 Octubre 2016].

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, «FAO,» [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y5751s/y5751s08.htm>. [Último acceso: 5 agosto 2016].

OSMA PINTO G.A., Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio de eléctrica II de la universidad industrial de Santander, Bucaramanga: Universidad industrial de Santander, 2011.

OVIEDO PINZÓN A. M. y ARENAS SANTAMARÍA O. A., Estudio técnico y financiero de implementación de paneles solares enfocado a centros comerciales, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009.

SÁNCHEZ MAZA M. Á., Energía Solar Fotovoltaica, México: Limusa, 2012.

SYSTEM ADVISOR MODEL, «SAM,» [En línea]. Disponible en: <https://sam.nrel.gov/>. [Último acceso: 15 de octubre 2016].

TOBAJAS VÁZQUEZ M. C., Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Cano Pina, 2012.

UJAEN Efecto fotovoltaico, [En línea]. Disponible en: https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_03.htm [Último acceso: 20 de octubre 2016].

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, «Factores de Emisión del S.I.N. Sistema Interconectado Nacional Colombia 2014.».

URUGUAY. DIRECCIÓN NACIONAL DE RECURSOS ACUÁTICOS, Manual básico de piscicultura en estanques, Montevideo: DINARA-FAO, 2010.

ANEXOS

Anexo A: Selección de los equipos para el proceso de aireación.

Tabla A1: Característica del equipo de aireación.

Motor trifásico LAFERT 2HP		
Parámetro	Delta	Estrella
Vn [V]	208	460
In [A]	6,3	2,9
Pn [W]	1500	1500
Fp	0,82	0,82
PE [W]	1861,13709	1861,13709
S [VA]	2269,679378	2269,679378

La selección de los equipos para el proceso de aireación se hace según el nivel de producción del cultivo. Técnicamente en los cultivos se selecciona un equipo de aireación de un caballo (HP), para el proceso de aireación de una tonelada de producto según Figuras F5 y F6 del Anexo F. Para el proceso de aireación del caso estudio se selecciona un motor aireador tipo blower según foto de la Figura A1. Las características del motor blower se pueden observar en la Tabla A1, la cual se hizo con fotos tomadas a los equipos en visita de campo a la piscícola San Silvestre. En dicha tabla se muestra la tensión nominal, corriente nominal, potencia nominal del equipo. Este equipo está en capacidad para realizar el proceso de aireación de dos toneladas de producción. Para el sistema de producción planteado para el caso de estudio donde se estima tener cuatro (4) estanques con una producción de una tonelada por estanque, es necesario contar con dos (2) aireadores tipo blower con las características de la Tabla A1, para una potencia 3.722 kW.

Figura A1: Datos de placa característica del aireador



Figura A2: Montaje del equipo de aireación.



Anexo B: Selección del equipo de refrigeración.

Figura B1: Ficha técnica de equipo de refrigeración.

BOTELLERO BGL-1000



- Temperatura de funcionamiento 1°C a 5°C.
- Dos compartimentos para fabricación de hielo (cubeteros).
- Gabinete externo en acero galvanizado prepintado.
- Marco en acero inoxidable de alto calibre.
- Aislamiento de espesor 45 mm, en poliuretano libre de CFC, soplado con Ciclopentano.
- Base gabinete (chasis) de alta resistencia, en acero galvanizado calibre 18.
- Puerta plana sólida en acero inoxidable, con aislamiento para menor consumo de energía.
- Condensador, evaporador y tuberías fabricados en cobre de alta pureza.
- Compresor y motores ventiladores de calidad certificada.

Indufrial
el frío rentable!

Consumo de Energía	4.5 Kwh/ 24 H
Corriente del compresor	4 Amp.
Capacidad Frigorífica	1250 BTU/ H
Capacidad Comercial	37.92 Pies Cúbicos
Puertas	4 sólidas
Accesorios	N/A
Controles	Electromecánico
Sistema de enfriamiento	Estático
sistema de condensación	Aire Forzado
Gas refrigerante	134a
Gas espumante	Ciclopentano
Canastillas	N/A
Azafates	N/A
Iluminación Interior	N/A
Publicidad	N/A
Display	N/A
Rodachinas	4 traseras
	4 frontales
Tipo de descongelación	Manual
Potencia del compresor	260 W
Empaque (local)	Cartón / Icopor
Empaque (exportación)	Guacal
Tensión y Frecuencia	110 Vac/ 60Hz
Peso neto	147 kg
peso bruto	188 kg

Para la selección del equipo para el proceso de refrigeración se recurre a la ayuda de la Figura F6 del Anexo F, en donde recomiendan un congelador horizontal de mil litros (1000L) para mantener la cadena de frío de una tonelada de producto cosechado. En la Figura B1 se muestra la ficha técnica de un congelador horizontal de la capacidad mencionada, de esta ficha se elige la potencia nominal del compresor la cual es de 260 W.

Anexo C: Selección del equipo de Iluminación para el cultivo.

Tabla C1: Potencia equipos de iluminación.

Iluminación		
Tipo	Cantidad	Potencia [W]
Luminaria	4	400

Para la selección del equipo de iluminación se recurre a la ayuda de las Figuras F6 y F9 del Anexo F, en este anexo el personal técnico y profesional con experiencia en la ejecución y acompañamiento en proyectos de piscicultura, recomiendan contar con una luminaria por estanque de producción con el propósito de que en los periodos de la noche se pueda realizar revisiones periódicas de los parámetros fisicoquímicos del agua contenida en los estanques. La potencia de cada luminaria se define de 100 W.

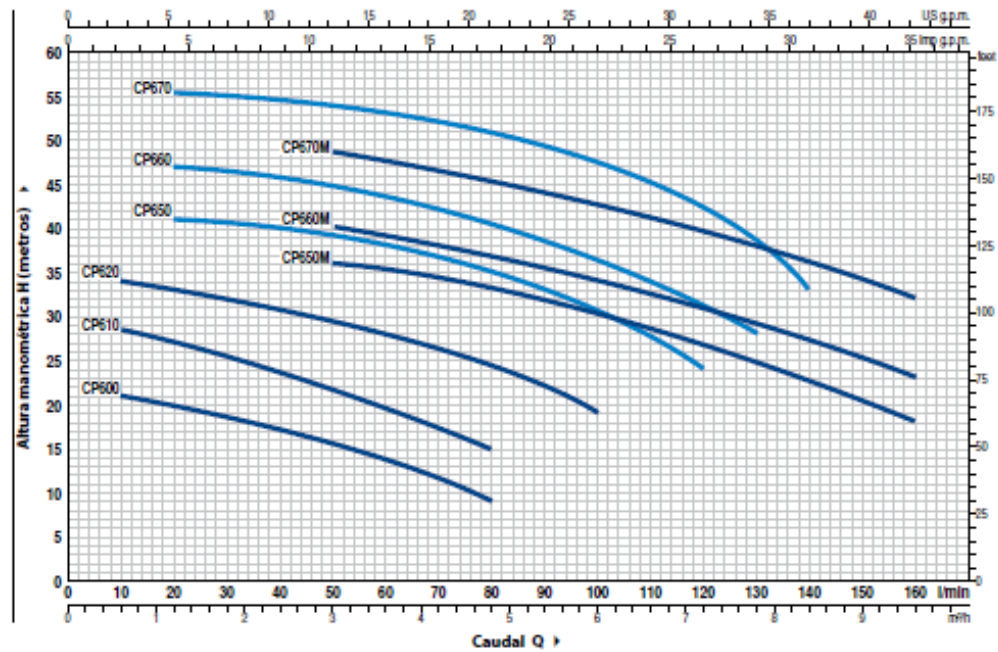
Anexo D: Selección del equipo para el recambio de agua.

Figura D1: Ficha técnica de equipo para el proceso de recambio hoja 1.



CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	H metros																		
Monofásica	Trifásica	kW	HP ▲		0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6		
CPm 600	CP 600	0.37	0.50	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160			
				IE2	22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9										
					30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19.5	17.5	15										
					35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19								
					42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24						
					IE3	48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28				
						57	56.5	55.5	55	54	53.5	53	52	50.5	49.5	47	45	42.5	38	33			
						39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18	
					IE3	43	42.5	42	41	40.5	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25	23	
						51	50.5	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34	32	

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

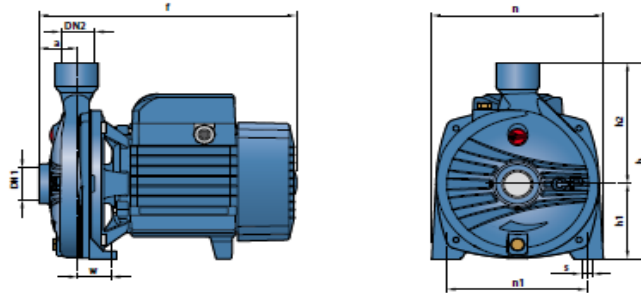
Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30)

Figura D2: Ficha técnica del equipo de recambio hoja 2.



DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm									kg	
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	n	n1	w	s	1=	3=
CPm 600	CP 600	1"	1"	42	253	205	82	123	165	135	41	10	7.1	7.1
CPm 610	CP 610				285	240	92	148	190	160	38		8.7	8.2
CPm 620	CP 620				285	240	92	148	190	160	38		11.5	10.5
CPm 650 - 650M	CP 650 - 650M	1½"	1"	51	367	260	110	150	206	165	44.5	11	17.8	17.2
CPm 660 - 660M	CP 660 - 660M				367	260	110	150	206	165	44.5		18.9	17.9
CPm 670 - 670M	CP 670 - 670M				367	260	110	150	206	165	44.5		20.7	20.1

CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION		
	220 V	110 V	127 V
CPm 600	2.7 A	5.5 A	5.2 A
CPm 610	4.0 A	8.0 A	7.6 A
CPm 620	6.0 A	12.0 A	10.0 A
CPm 650	8.8 A	17.6 A	16.0 A
CPm 650M	8.8 A	17.6 A	16.7 A
CPm 660	9.7 A	20.0 A	18.4 A
CPm 660M	9.7 A	19.0 A	18.4 A
CPm 670	13.2 A	25.0 A	19.0 A
CPm 670M	12.0 A	25.0 A	19.0 A

MODELO	TENSION			
	220 V	380 V	220 V	440 V
CP 600	1.8 A	1.0 A	2.0 A	1.2 A
CP 610	2.8 A	1.6 A	2.6 A	1.5 A
CP 620	4.2 A	2.4 A	4.2 A	2.4 A
CP 650	7.5 A	4.3 A	5.8 A	3.2 A
CP 650M	7.5 A	4.3 A	5.8 A	3.2 A
CP 660	6.7 A	3.9 A	6.4 A	4.1 A
CP 660M	6.7 A	3.9 A	6.4 A	4.1 A
CP 670	10.4 A	6.0 A	8.8 A	5.0 A
CP 670M	9.0 A	5.2 A	9.7 A	5.2 A

La selección del equipo de recambio se hace con la ayuda de la metodología planteada en la Figura 13. Para el caso estudio se considera que el cultivo solo requiere una electrobomba para el proceso de llenado, el vaciado se realiza por gravedad, esto es por tratarse de cultivo sin recirculación de agua, si fuese el caso de un cultivo con recirculación de agua si es necesario contar con un equipo para el proceso de limpieza del agua.

Para el proceso de recambio selecciona una electrobomba trifásica de referencia CP 600 según ficha técnica de la Figura D1, de una potencia de medio caballo (0.5 Hp) y una potencia de entrada 493 W, según estándar IEC 60034, para una eficiencia aproximada 75% según la clase IE2. Para realizar el proceso de

recambio del 1% diario según prácticas de manejo de cultivo de peces en el Anexo F.

Anexo E: Perfil diario de radiación promedio de la zona de estudio.

La zona escogida como el caso de estudio presenta un perfil de radiación diario como el mostrado en la figura, en él se observa que la radiación promedio por mes no alcanza a supera los 0,7 [kW/m²]. Esta zona presenta una baja radiación.

Figura E1: Perfil de radiación diario de la zona de estudio.

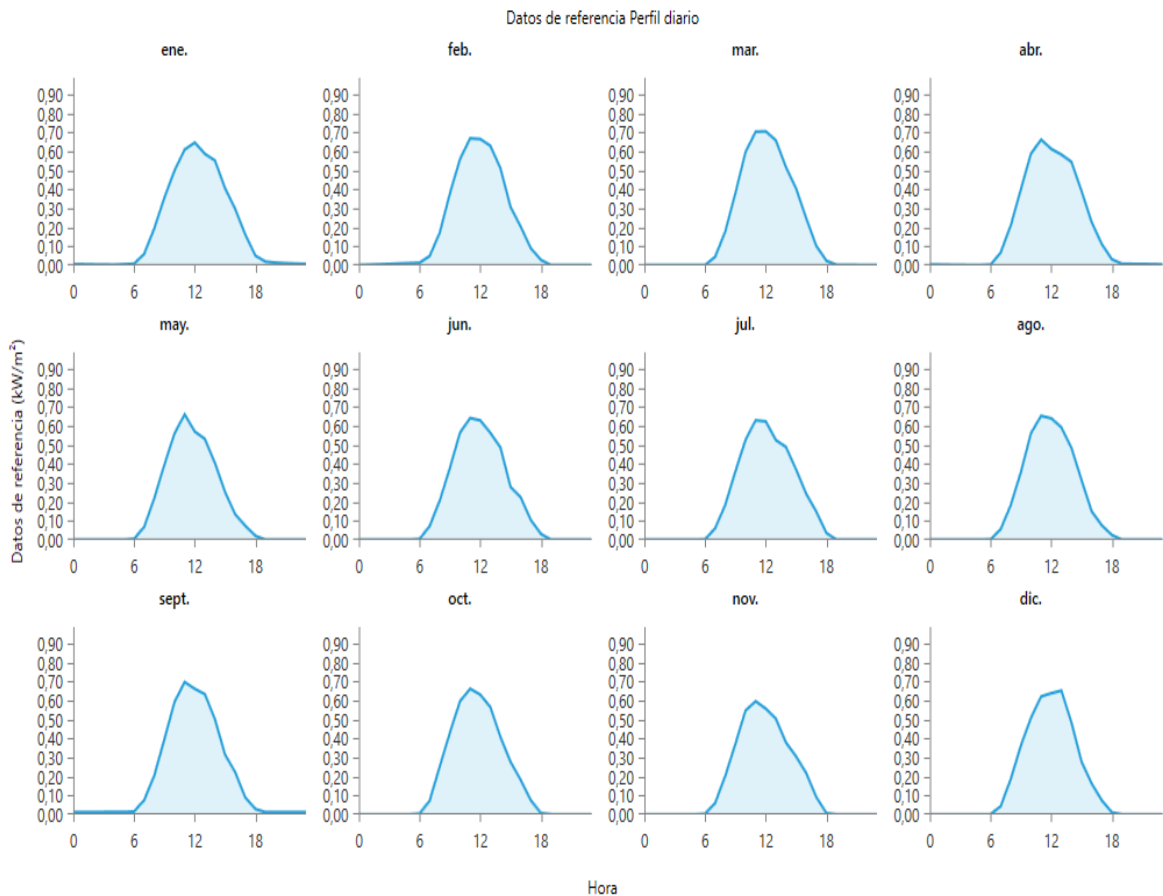


Figura E2: Radiación solar promedio datos IDEAM

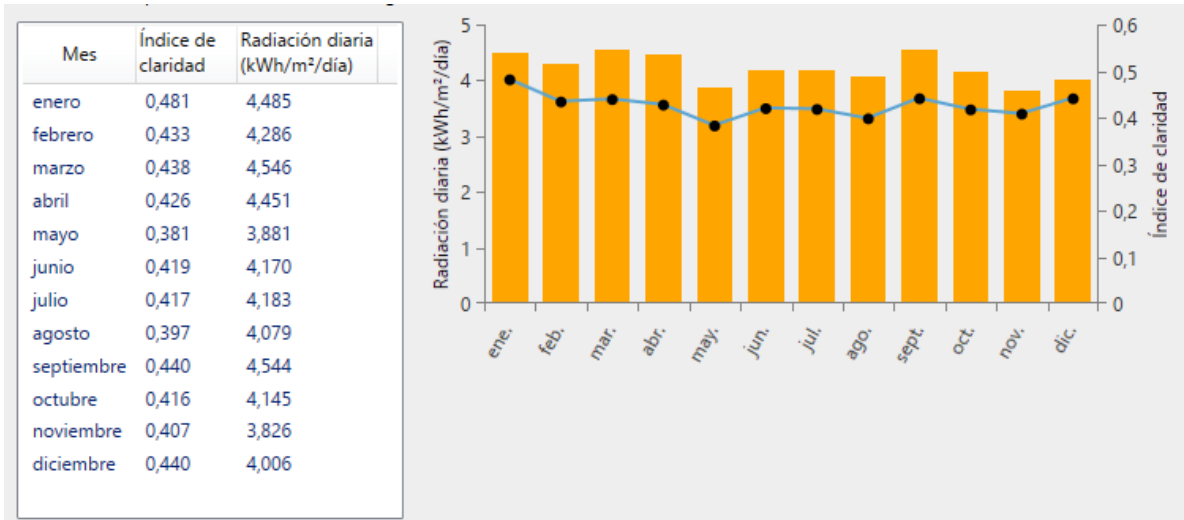
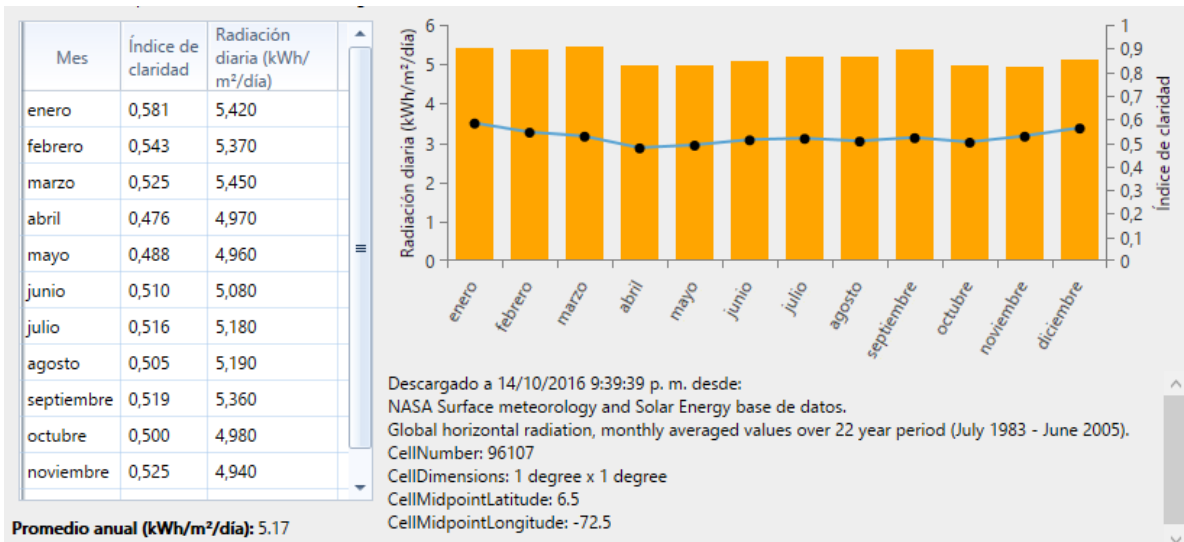



Figura E3: Radiación solar promedio datos NASA.




Anexo F: Validación metodología y cuestionarios

Figura F1: Informe de visita de campo hoja 1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
Perfecta Combinación entre Energía e Intelecto



Informe de la visita



Fecha: Día 13 Mes 06 Año 2016

Datos de la empresa	
Empresa	Piscícola san silvestre
Teléfono	3134234312-3134234317
Dirección	Km 7 vía corregimiento el llanito
Email	info@pisansilvestre.com
Datos del asesor	
Nombre	Yormanis Lopez Cuadrado
Cargo	Coordinador de Producción de Tilapia Roja
Teléfono	3142124036
Email	Yormanis.muz@gmail.com
Datos del visitante	
Nombre	Wilson Enrique Tabares Porras
Identificación	1063619412
Ocupación	Estudiante
Carrera	Ingeniería eléctrica
Institución	Universidad industrial de Santander
Teléfono	3152841937-3506127582
Email	wilsonk91620@gmail.com

Cuestionario

1. En caso de presentarse un corte de energía, ¿Qué sistema de respaldo utilizan?
Manual con motor diesel
2. ¿Cuál es la empresa comercializadora que le suministra la energía?
ESSA
3. ¿Qué equipos son los necesarios para implementar un cultivo intensivo de piscicultura?
estanque 600 membrana
4. Como realizan la estimación del número de aireadores y demás equipos necesarios en un cultivo de piscicultura?
un aireador para estanque 9-15 m

Figura F2: Informe de visita de campo hoja 2

 **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
Perfecta Combinación entre Energía e Intelecto 

5. ¿Cuál es la demanda de energía mensual?
NR

6. ¿Qué equipos de aireación utilizan?
blower, splash, hidroject

7. ¿Cuál es el sistema difusor utilizado en la aireación de los estanques?
Manguera circular

8. ¿Qué documentación se debe tramitar para iniciar un cultivo de piscicultura?
ICA, CAS

9. ¿Qué normas de calidad debe cumplir un cultivo de piscicultura?
HASA - fedaacua Globalcal
↳ Producto

10. ¿Qué equipos de medición son los requeridos para mantener el control de los parámetros en el agua?




11. ¿Qué sistemas de producción tienen implementado?
➤ Extensivo
➤ Semi-Intensivo ✓
✗ Intensivo
➤ Super-Intensivo.

12. ¿Qué cantidad de peces/m3 producen en cada sistema?
➤ Extensivo
➤ Semi-Intensivo
✗ Intensivo 15 peces
➤ Super-Intensivo.

13. ¿Cuáles son las empresas proveedoras de los alevinos?

Figura F3: Informe de visita de campo hoja 3.

Producción mas 1-2 ton ; programación semanal

  UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
Perfecta Combinación entre Energía e Intelecto 

14. ¿Empresas proveedoras de alimento?
italcol

15. ¿Qué sistema de control y manejo de agua utilizan?
➤ Recirculación de agua
➤ Biofloc
➤ Otro

16. ¿En qué niveles se mantienen los siguientes parámetros?
➤ Oxígeno disuelto
➤ PH *6.5-7*
➤ Alcalinidad
➤ Amonio *cambio de agua*
➤ Nitritos

17. ¿Qué sistemas son utilizados para mantener controlado los siguientes parámetros?
➤ Oxígeno disuelto
➤ PH
➤ Alcalinidad
➤ Amonio
➤ Nitritos

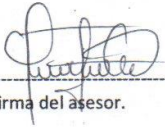
18. ¿Qué porcentaje de recambio de agua, y cada cuanto se debe realizar?
un 1% diario

19. ¿Qué sistema se utiliza para realizar el recambio de agua?

20. ¿Cómo se calcula las dimensiones de los equipos aireación utilizado en los estanques de geo membrana o donde sean utilizados?


21. ¿Qué sistemas de control se utilizan para mantener los parámetros del agua y la producción en las condiciones adecuadas?
ph diario con medidor, niveles de amonio y nitrato mensual

22. ¿Cómo se mantiene la temperatura en niveles óptimos para los peces?
28-31°C



Firma del asesor.

Figura F4: Cuestionario de validación de metodología de cálculo de demanda eléctrica Hoja 1.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones - ETT
"Perfecta combinación entre energía e intelecto"

Cuestionario para la validación de método de obtención de la demanda de energía eléctrica de cultivos intensivos de piscicultura.


Datos de entidad o empresa	
Razón social	Aunap- Oficina - Bucaramanga
Teléfono	322 951 3944
Dirección	Cra 25A 34-73 - Bucaramanga
Email	sigilfredo.lopez@aunap-suc.co
Datos del asesor	
Nombre	sigilfredo Lopez Castro
Cargo	Contratista
Teléfono	322 951 3944
Email	sigilfredo.lopez@aunap-suc.co
Datos del visitante	
Nombre	Wilson Enrique Tabares Porras
Identificación	1063619412
Ocupación	Estudiante
Carrera	Ingeniería eléctrica
Institución	Universidad industrial de Santander
Teléfono	3152841937-3506127582
Email	wilsonk91620@gmail.com

Con el propósito de darle veracidad a la metodología planteada para definir los requerimientos de energía eléctrica, es muy importante conocer la opinión de un profesional experto en la temática de piscicultura que ya ha brindado asesoría y acompañamiento en la ejecución de proyectos piscícolas. Favor evaluar el esquema planteado para la obtención de las actividades y equipos usados en cultivos intensivos de piscicultura que se muestra en la figura 1.


Figura F5: Cuestionario de validación de metodología de cálculo de demanda eléctrica Hoja 2.



Figura F6: Cuestionario de validación de metodología de cálculo de demanda eléctrica Hoja 2.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones - ET
"Perfecta combinación entre energía e intelecto"



2. ¿Con que criterio realiza la selección de equipos para el proceso de refrigeración en los cultivos intensivos de piscicultura?

Todo cultivo intensivo de peces, debe contar con equipos de refrigeración, tanto y es, que se necesita mantener la cadena de frío y la conservación del producto capturado. Por lo menos se debe contar con un refrigerador de 1000 Litros por una tonelada.

3. ¿En la actividad de hacer revisiones nocturnas, con que periodicidad y tiempo se hace uso de energía eléctrica para iluminar los estanques en los cuales se realiza el cultivo de los peces?

Las revisiones de oxígeno y temperatura se realizan cada 3 horas, en periodos nocturnos, con el uso de iluminación de una bombilla por estanque, en término de tiempo de 20 minutos por estanques.

4. ¿Para las actividades de recambio de agua considera adecuado el criterio para determinar si es necesario contar con un equipo para realizar el recambio de agua de los estanques para cultivos intensivos de piscicultura?

Si es necesario contar con equipos para recambios de agua (efectores bombas), y a ser de manera directa o indirecta es decir que se maneje el agua del río o un tanque o reservorio, con su defecto al estanque con peces. Esta metodología se usa cuando el fuente de agua está en la parte baja con respecto a la ubicación de los estanques.

5. ¿En el departamento de Santander cual es método más usado para realizar la estimación de los equipos de aireación?

Generalmente se emplean equipos de aireación (barridos-agitador) de entre un HP, para sistemas de larga producción de totalizado de Bioma.




 @201605166750
 Firma @construccion@UNIA - Jmasr
 Fecha de Realización: 28 de Septiembre de 2016.
 Decimaseis / 5 / die.

Figura F7: Cuestionario 2 de validación de metodología de cálculo de demanda eléctrica Hoja 1.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones - ET
"Perfecta combinación entre energía e intelecto"

Cuestionario para la validación de método de obtención de la demanda de energía eléctrica de cultivos intensivos de piscicultura.

Fecha: 05/10/2016.

Datos de entidad o empresa	
Razón social	UIS - IPRED.
Teléfono	6323198
Dirección	Cra 27 CALLE 9.
Email	
Datos del asesor	
Nombre	CARLOS ANIBAL VASQUEZ CAEDO
Cargo	COORDINADOR PROGRAMAS AGROINDUSTRIAL
Teléfono	300 6084087.
Email	cvasquez@uis.edu.co.
Datos del visitante	
Nombre	Wilson Enrique Tabares Porras
Identificación	1063619412
Ocupación	Estudiante
Carrera	Ingeniería eléctrica
Institución	Universidad industrial de Santander
Teléfono	3152841937-3506127582
Email	wilsonk91620@gmail.com

Con el propósito de darle veracidad a la metodología planteada para definir los requerimientos de energía eléctrica, es muy importante conocer la opinión de un profesional experto en la temática de piscicultura que ya ha brindado asesoría y acompañamiento en la ejecución de proyectos piscícolas. Favor evaluar el esquema planteado para la obtención de las actividades y equipos usados en cultivos intensivos de piscicultura que se muestra en la figura 1.

Figura F8: Cuestionario 2 de validación de metodología de cálculo de demanda eléctrica Hoja 2.

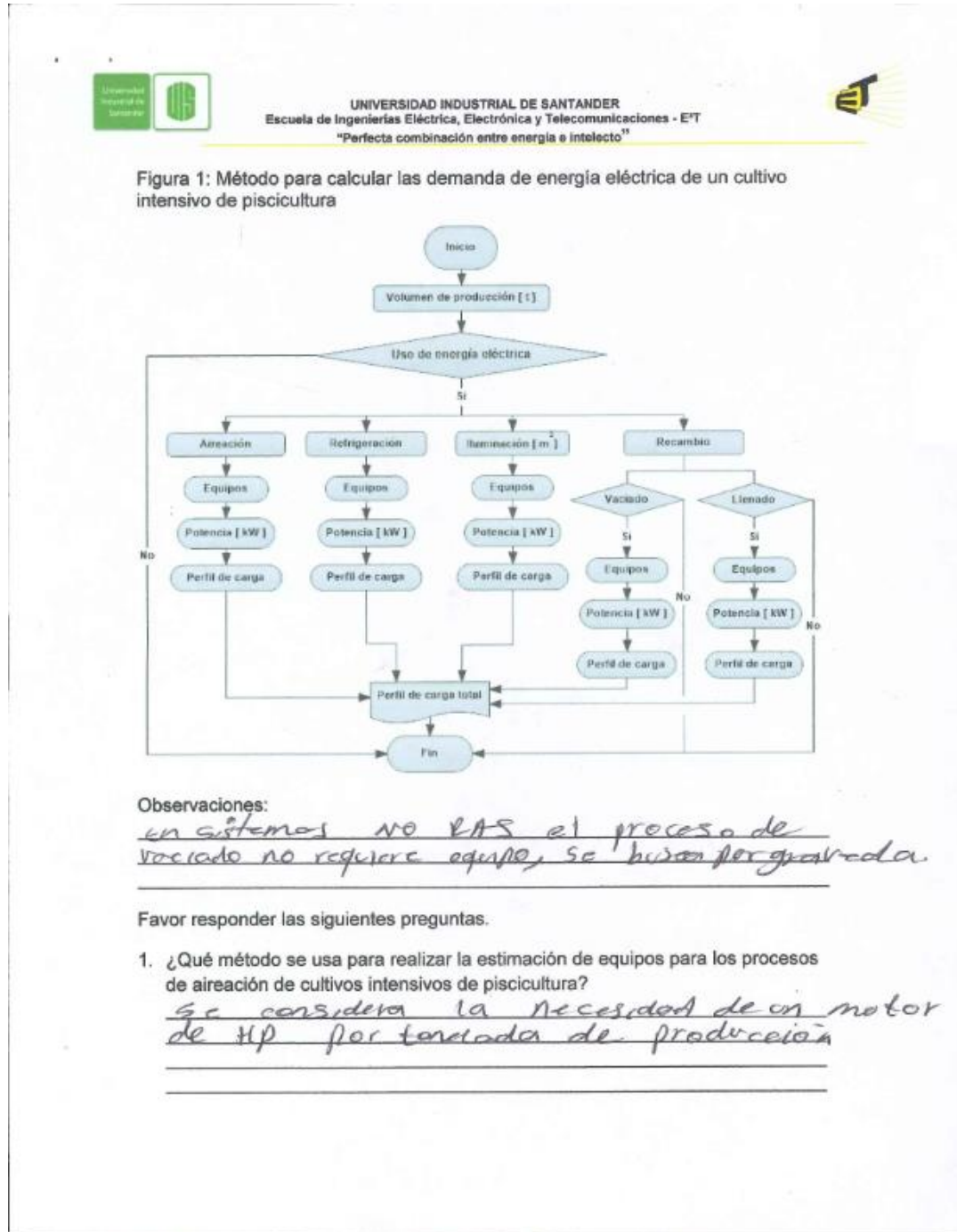



Figura F9: Cuestionario 2 de validación de metodología de cálculo de demanda eléctrica Hoja 1.

 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones - EIT
"Perfecta combinación entre energía e intelecto"

2. ¿Con que criterio realiza la selección de equipos para el proceso de refrigeración en los cultivos intensivos de piscicultura?

1. según el estado en el que se vende la producción, si se vende fresco, procesado se requiere equipo, en filetes, magan porca, para una tonelada podría usar un congelador de 1,000 L para más producción aconsejable cuarto frío.

3. ¿En la actividad de hacer revisiones nocturnas, con que periodicidad y tiempo se hace uso de energía eléctrica para iluminar los estanques en los cuales se realiza el cultivo de los peces?

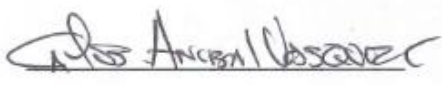
Se recomienda realizar hacer revisiones por lo menos cada 3 horas

4. ¿Para las actividades de recambio de agua considera adecuado el criterio para determinar si es necesario contar con un equipo para realizar el recambio de agua de los estanques para cultivos intensivos de piscicultura?

Depende si el sistema es con recirculación en donde si es necesario contar con un equipo

5. ¿En el departamento de Santander cual es método más usado para realizar la estimación de los equipos de aireación?

en Santander se está en proceso de desarrollo.


Firma

Anexo G: Caracterización de equipos por precio

El proceso de caracterización de los equipos por precio se llevó a cabo por medio de cotizaciones de los componentes necesarios para la implementación de un sistema fotovoltaico y un sistema de respaldo con generador diésel o baterías.

La Tabla G1 muestra la caracterización de los equipos, obtenida de la cotización de las Figuras G1, G2 y G3, la cual fue realizada sin tener en cuenta el IVA de los equipos por tratarse de equipos para implementación de energías limpias, los cuales tienen un descuento del IVA según políticas de estado promulgadas en la ley 1715 del año 2014.

Tabla G1: Precio suministro e instalación de equipos

Componente	Unidad	Cantidad	Valor unitario [\$]	TOTAL [\$]	TOTAL [USD\$]
Panel UP-M270P	Un	1	\$713,908	\$828,060	\$283
Terminales macho y hembra	un	0.3	\$21,983		
Cableado	ml	3	\$21,122		
Tubería galvanizada	ml	2	\$21,729		
Estructura de soporte	Un	1	\$156,141	\$156,141	\$53
Inversor GEMKS 5 kVA	Un	1	\$5,947,606	\$5,947,606	\$2,034
Generador diesel KDE6700TA3	un	1	\$4,448,276	\$5,160,000	\$1,764
Batería Discover 12 VRE-3000	Un	1	\$1,111,928	\$1,111,928	\$380

Figura G1: Cotización de equipos del sistema fotovoltaico




Av. La Rosta # 18 - 80 Oficina 201 // PBX: (57) (7) 6306440
 www.emeingenieria.com.co - info@emeingenieria.com.co
 Bucaramanga - Colombia

Bucaramanga, 07 de Octubre de 2016

Señor:
WILSON TABARES
 Ciudad

ASUNTO: COTIZACIÓN V_077_02_16 SUMINISTRO E INSTALACION DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO HIBRIDO DE 6KW PARA OFICINAS WILSON TABARES

Conforme a su solicitud, adjunto enviamos nuestra cotización para el servicio en referencia: 

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR	SUBTOTAL
1.01	Suministro e instalación de Módulo fotovoltaico 270W policristalino	und	18.00	\$828,133	\$ 14,906,394
1.02	Suministro e Instalación de Equipo Multifuncional GELA /230VAC /5000VA Inversor onda pura - Cargador 48VDC / 2 MPPT de 5 kW	und	1.00	\$6,899,229	\$ 6,899,229
1.03	Suministro e instalación de Batería AGM sellada de 200 AH.	und	8.00	\$1,096,275	\$ 8,770,200
1.04	Suministro e instalación de red Cu soldador 2 # 6 + 1 #10t	ml	60.00	\$21,122	\$ 1,267,320
1.05	Suministro e Instalación de Terminales MC4 macho y hembra	und	6.00	\$25,500	\$ 153,000
1.06	Suministro e instalación de tubería galv 1"	ml	40.00	\$25,206	\$ 1,008,240
1.07	Suministro e Instalación de Estructura de soporte en Aluminio para paneles solares	glb	1.00	\$3,260,226	\$ 3,260,226
1.08	Suministro e instalación de sistema de monitoreo remoto	und	1.00	\$1,693,154	\$ 1,693,154
TOTAL PRESUPUESTO					
				Costo Directo	\$ 37,957,763
			Administración (%)	8.00%	Total Administración \$ 3,036,621
			Imprevistos (%)	2.00%	Total Imprevistos \$ 759,155
			Utilidades (%)	5.00%	Total Utilidades \$ 1,897,888
			IVA (%) Sobre UT	16.00%	Total IVA \$ 303,662
TOTAL					\$ 43,955,090

NOTA:

- El inversor propuesto, tiene incluido el regulador de carga para el control de carga y descarga de las baterías.



Anexo H: Caracterización de componentes ingresados a la herramienta de simulación Homer.

Figura H1: Caracterización panel fotovoltaico.

Propiedades

Nombre: PANEL_UP-M270P
Abreviatura: M270P

Tipo de panel Flat plate
Capacidad evaluada (kW): 0
Coeficiente de temperatura: -0.5
Temperatura operativa (°C): 45
Eficiencia (%): 16.6
Fabricante: Generic
Peso (lbs): 160

Costs

Capacidad (kW)	Inversión (\$)	Reemplazo (\$)	O&M (\$/año)
0.270	\$283.11	\$283.11	\$2.70

Click here to add new item

Multiplicador: [-] [-] [-]

Entrada de sitio específico

Vida útil (años): 25.00 [-]
Factor de reducción (%): 90.00 [-]

Upper: 20
Lower: 0

Bus eléctrico: CA CD

MPPT | **Dato de entrada avanzado** | **Temperatura**

Reflectancia del suelo (%): 20.00 [-]

Sistema de rastreo: No Tracking

Usar la pendiente predet Pendiente del panel (grados): 10.00 [-]

Usar el azimut predeter Azimut del panel (grados oeste del sur): 180.00 [-]

MPPT | **Dato de entrada avanzado** | **Temperatura**

¿Considerar efectos de la temperatura?


Usar la temperatura ambiente definida en el recurso de temperatura.

Efectos de la temperatura en la potencia (%/°C): -0.500 [-]

Temperatura nominal de la celda (°C): 45.00 [-]

Eficiencia bajo condiciones estándar de prueba: 16.60 [-]

Figura H2: Caracterización Inversor.

CONVERTIDOR  Nombre: INVERSOR_GEMKS Abreviatura: GEMKS Quitar
Copiar en la biblioteca

Propiedades
 Nombre: INVERSOR_GEMKS
 Abreviatura: GEMKS 5
 Fabricante: Generic
 Peso (lbs): 1500
 Huella (in2) 2000
 Sitio web: www.homerenergy.com
 Notas: This is a generic system converter.

Capacidad (kW)	Inversión (\$)	Reemplazo (\$/año)	O&M (\$/año)
5	\$2,033.15	\$2,033.00	\$50.00

Click here to add new item

Multiplicador:

Entrada del inversor
 Vida útil (años):
 Eficiencia (%):
 ¿Paralelo con el generador de CA?

Entrada del rectificador
 Capacidad relativa (%):
 Eficiencia (%):



Search Space 
 Tamaño (kW)
 0
 5

Figura H3: Caracterización generador diésel.

GENERADOR  Nombre: GENERADOR_KDE6700TA3 Abreviatura: GEN KD Quitar
Copiar en la biblioteca

Propiedades
 Nombre: GENERADOR_KDE6700TA3
 Abreviatura: GEN KDE6700TA3
 Fabricante: Generic
 Sitio web: www.homerenergy.com

Capacidad (kW)	Inversión (\$)	Reemplazo (\$/año)	O&M (\$/año)
1	\$352.85	\$352.85	\$0.030

Click here to add new item

Multiplicador:

Entrada de sitio específico
 Proporción de carga mínima: Proporción de recuperación c: Vida útil (Horas):
 Tiempo de operación mínimo:

Recurso de combustible | **Curva de combustible** | Biogás | Emisiones | Mantenimiento | Horario

Bus eléctrico CA CD

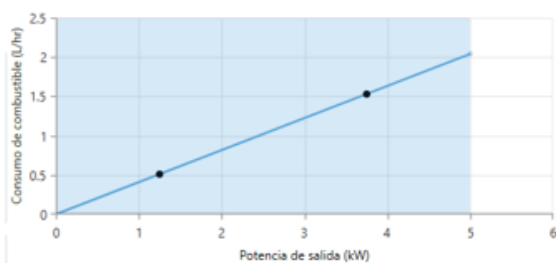



Figura H4: Caracterización de batería.

BATERÍA  Nombre: Discover 12VRE-3000TF-L- Abreviatura: 12VRE- Quitar
Copiar en la biblioteca

Propiedades

Nombre: Discover 12VRE-3000TF-L-PROYECTO
 Abreviatura: 12VRE-3000TF-L
 Fabricante: Discover Energy
 Voltaje nominal (V): 12,0
 Capacidad máxima (AH): 245
 Eficiencia de ida y vuelta (%): 85,0
 Vida de flotación (años): 18,0
 Rendimiento sugerido de vida útil (kWh): 3.550
 Intervalo de reemplazo del electrolito (años): 125
 Ratio de capacidad, c: 0,329
 Constante de tasa 0,597

Cantidad	Inversión (\$)	Reemplazo (\$)	Costo (\$/año)
1	\$380	\$380	\$10

Click here to add new item

Multiplicador:

Entrada de sitio específico


Baterías por serie: (12 V bus)

Estado de carga inicial (%):

Estado de carga mínimo (%):

Upper:
 Lower:

Figura H5: Caracterización de red eléctrica.

RED AVANZADA  Nombre: Red_Zona_Rural Abreviatura: Red Quitar
Copiar en la biblioteca

Tarifas simples Tarifas en tiempo real Tarifas programadas Extensión de red

Tarifas en tiempo real

Parámetros Definición de tasa Tasas de Demanda **Confiabilidad** Emisiones

Capacidad de venta (kW):

Purchase Capacity

Capacidad de Compra Anual

Search Space

Capacidad de Compra Mensual

Monthly

Costos Distribuidos de Generación

Cobro por interconexión (\$):

Cobro por respaldo (\$/año):

Optimización

Simular sistemas con y sin red
 Incluye la red en todas las simulaciones

Limitaciones

Compras a la red netas máximas (kWh/año):

Parámetros de control

Prohibir que la red cargue la batería por encima de la tarifa de (\$)/kWh:

Prohibir que cualquier batería se cargue por encima del precio de (\$)/kWh:

Prohibir que la batería se descargue por debajo del precio de (\$)/kWh:

Prohibir las ventas a la red desde la batería por debajo de la tarifa de reventa de (\$)/kWh:

Prohibir cualquier venta a la red por debajo de la tarifa de reventa de (\$)/kWh:

Costos de la extensión de la red

Costo de inversión de la red (\$/km):

Distance (km):

Figura H6: Definición de la tarifa.

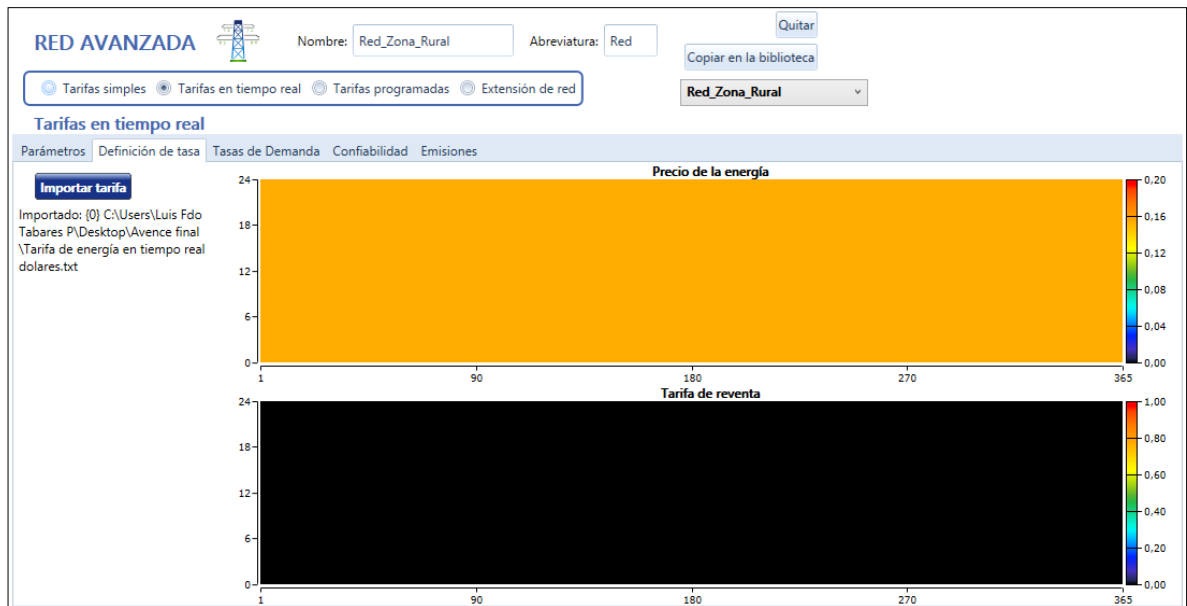
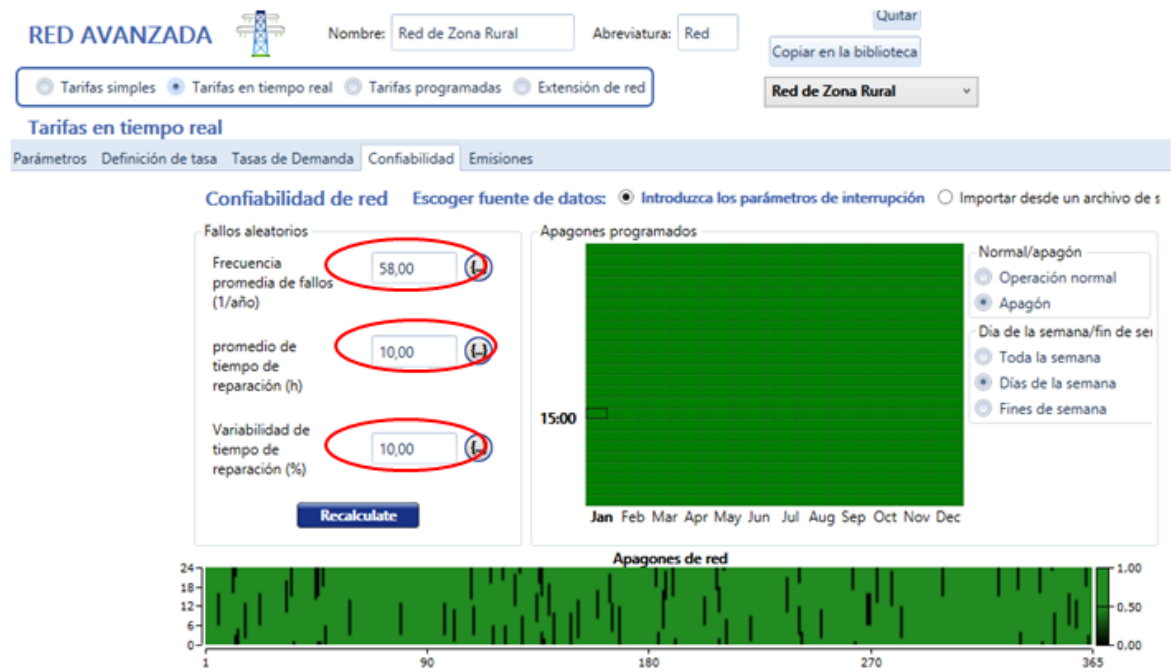


Tabla H1: Índices DES y FES zona rural para el año 2015

Trimestre	DES	FES
Primer trimestre	10	17
Segundo trimestre	11	17
Tercer trimestre	12	17
Cuarto trimestre	6	7

Fuente: Autor con datos de: Electrificadora de Santander (ESSA)

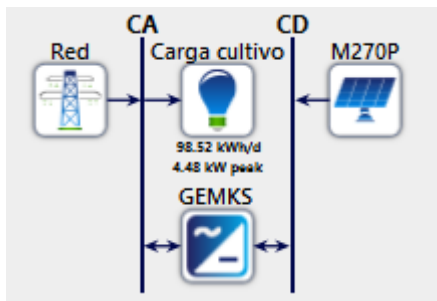
Figura H7: Parámetros de confiabilidad.



Anexo I: Análisis técnico y económico de la configuración red y sistema fotovoltaico.

Para este escenario se consideró evaluar el efecto que tiene la implementación de energía solar fotovoltaica en el consumo de energía eléctrica de la red tradicional. Para este escenario se consideró una red simple donde no se presenten interrupciones en el servicio de energía, se suministran los datos al software de perfil de carga, datos de radiación solar y características de los componentes con los cuales se realizará la simulación. En la Figura I1 se muestra la configuración adoptada para el escenario simulado.

Figura I1: Configuración adoptada.



Tomado de: Homer Pro 3.5.4.

Para la configuración adoptada, los resultados de simulación se presentan en la Figura I2. Para poder apreciar de forma clara los resultados se realizó la tabla 36 en la cual se presentan los aspectos más importantes de la figura 60.

Figura I2: Resultados de simulación.

Arquitectura				Costo				Sistema
M270P (kW)	Red (kW)	GEMKS 5 (kW)	Despacho	CDE (\$)	CAN (\$)	Costo de operación (\$)	Inversión inicial (\$)	Fracc. Ren. (%)
11.3	999,999	5.00	CC	\$0.136	\$95,307	\$4,319	\$13,829	32
	999,999		CC	\$0.162	\$109,887	\$5,825	\$0.00	0.0050

M270P		GEMKS 5		Red	
Capital Cost	Production	Rectifier Mean Output	Inverter Mean Output	Energy Purchased	Energy Sold
11,796	14,552	0	1	25,310	1,294
				35,957	0

Tomado de: Homer Pro 3.5.4.

Los resultados de simulación para los datos ingresados para el escenario, muestran que para la configuración de red y sistema fotovoltaico el mejor resultado según el menor costo presente neto (VPN o CAN), es tener un sistema con una capacidad instalada de 11,3 kW, esta cantidad de potencia instalada se divide en la potencia nominal de cada panel y el resultado es un sistema con 42 paneles. Para la capacidad instalada mencionada la penetración de renovables es de 32%, el sistema fotovoltaico genera 14552 kWh/año de energía eléctrica anual.

En la tabla se muestran los datos más relevantes de la configuración.

Tabla I1: Resultados de simulación configuración red y sistema fotovoltaico.

Capacidad instalada FV (kW)	Tipo de despacho	Inversión inicial (USD\$)	Penetración renovable (%)	Producción anual (kWh/año)	Compra de energía (kWh/año)
11,3	CC	13.829	32	14552	25310

Para la evaluación de este escenario se escogió como caso base (caso de referencia), la red eléctrica, Los costos anuales asociados al consumo de energía eléctrica, en los que incurriría un productor piscícola que tenga las características

del perfil de carga del caso estudio y considerando un escenario ideal en el que la red eléctrica no tiene interrupciones se presentan en la Tabla I2.

Tabla I2: Costo de energía eléctrica anual.

Sistema	Consumo anual [kW/h]	Precio [kW/h]	Costo anual de la energía [\$]
Red eléctrica	35960	474,35	12'005.798,5
Total			12'005.798,5

En la Tabla I3 se presenta el costo de los equipos a ser instalados en el arreglo mencionado. Los costos de operación y mantenimiento del sistema e ingresos por la generación de energía de los paneles fotovoltaicos teniendo en cuenta las perdidas en el inversor, estos resultados se presentan en las Tablas I4 e I5.

Tabla I3: Costo de suministro e instalación de equipos

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo del sistema [\$]
Panel UP-M270P	Un	42	828059,96	34'778.518,55
Inversor GEMKS 5	Un	1	5'947.606,01	5'947.606,0
Subtotal				40'726.124,57
IVA				0
Total				40'726.124,57

Tabla I4: Costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico

Tipo de sistema	Mantenimiento [\$]	Total [\$]
Panel UP-M270P	331.672,32	331.672,32
Inversor GEMKS 5	146.240,00	146.240,00
Total		477.912,32

Tabla I5: Ingresos del sistema fotovoltaico

Sistema	Producción anual [kW/h]	Precio [kW/h]	Ingreso anual sistema [\$]	Total [\$]
Fotovoltaico	10650	474,35	5'051.827,5	5'051.827,5
Total				5'051.827,5

Figura I3: Flujo de efectivo de la configuración red y sistema fotovoltaico.

