



# **Análisis de alternativas para el suministro eléctrico de un sistema de ventilación activa para un invernadero de la hacienda la Brasilia**

**Jorge Andrés Granada Gañan**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Guadalajara de Buga, Colombia  
Año 2020

# **Análisis de alternativas para el suministro eléctrico de un sistema de ventilación activa para un invernadero de la hacienda la Brasilia**

**Jorge Andrés Granada Gañan**

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

Director (a):  
Ingeniera Adriana López

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Guadalajara de Buga, Colombia  
Año 2020

# Dedicatoria

*A mis Padres*

*Por estar siempre a mi lado y apoyarme en los momentos más importantes de mi vida, con sus consejos y amor incondicional han estado dispuestos de la mejor manera para brindarme su ayuda en todo momento y cuando yo más lo he necesitado.*

*A todos*

*Aquellos que día a día ofrecen su energía tiempo y recursos en la educación, maestros de los futuros profesionales que serán baluartes en conseguir las metas y objetivos de las entidades que contarán con sus servicios.*

## Resumen

En algunas zonas rurales del país donde existe acceso limitado a la red eléctrica, suplir la demanda de energía que se genera a raíz de la producción agrícola es un desafío para los agricultores quienes deben evaluar diferentes alternativas para abastecer esta demanda. Un caso en particular es la demanda energética de los sistemas de invernadero, utilizados comúnmente para cultivar diferentes tipos de plantas muy susceptibles a plagas y a cambios en las condiciones ambientales. A diferencia de los invernaderos que usan sistemas de refrigeración pasivos, los invernaderos convencionales requieren sistemas de climatización que consumen potencia eléctrica en grandes cantidades y de manera irregular a lo largo del día.

En este documento, se presenta el diseño de un sistema de ventilación para un invernadero y se evalúa la viabilidad técnico-económica entre un sistema de generación solar-fotovoltaico y una fuente de energía eléctrica convencional, como 2 alternativas de alimentación para proporcionar la potencia eléctrica requerida por el invernadero, considerando puntualmente el caso particular de un invernadero ubicado en La hacienda La Brasilia, en El Cerrito - Valle del Cauca, la cual se dedica específicamente al cultivo del tomate y debido a la falta de un sistema de climatización, ha venido presentando problemas y pérdidas en la producción debido a los frecuentes incrementos de temperatura. El alcance de este proyecto llega hasta la fase de diseño y dimensionamiento, complementándolo con un análisis de ventajas y desventajas, a través de la metodología del VPN para determinar la mejor de las 2 alternativas consideradas.

**Palabras clave:** Hacienda de cultivo, ventilación activa, cultivo de tomate, energía solar fotovoltaica.

## Abstract

In some rural areas of the country where there is limited access to the electricity grid, meeting the demand for energy generated by agricultural production is a challenge for farmers who must evaluate different alternatives to supply this demand. A particular case is the energy demand of greenhouse systems, commonly used to grow different types of plants that are highly susceptible to pests and changes in environmental conditions. Unlike greenhouses that use passive cooling systems, conventional greenhouses require air conditioning systems that consume electrical power in large amounts and irregularly throughout the day.

In this document, the design of a ventilation system for a greenhouse is presented and the technical-economic viability between a solar-photovoltaic generation system and a conventional electrical energy source is evaluated, as 2 power alternatives to provide electrical power. required by the greenhouse, specifically considering the particular case of a greenhouse located in La Brasilia farm, in El Cerrito - Valle del Cauca, which is specifically dedicated to tomato cultivation and due to the lack of an air conditioning system, it has been presenting problems and losses in production due to frequent increases in temperature. The scope of this project reaches the design and dimensioning phase, complementing it with an analysis of advantages and disadvantages, through the NPV methodology to determine the best of the 2 alternatives considered.

**Keywords:** Farmland, active ventilation, tomato cultivation, photovoltaic solar energy.

---

# Contenido

Resumen .....	IX
Lista de figuras.....	XII
Lista de tablas.....	XIV
1. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Objetivos .....	3
2. Marco teórico.....	4
2.1. Invernaderos para el cultivo de tomate chonto .....	4
2.2. Ventilación activa.....	6
2.3. Conceptos fundamentales sobre energía solar .....	10
2.4. Sistema de control.....	14
2.5. Red eléctrica convencional.....	16
2.6. El valor presente neto (VPN) .....	22
3. Caracterización .....	21
3.1. Clima .....	21
3.2. Condiciones medioambientales óptimas para el cultivo del tomate Chonto (T, %HR, entre otras).....	22
3.3. Inconvenientes en la producción del tomate Chonto .....	23
3.4. Características de los invernaderos de la hacienda la Brasilia .....	23
4. Análisis Técnico-Económico.....	31
4.1. Dimensionamiento del sistema de extracción de calor .....	31
4.2. Control y automatización del sistema de ventilación.....	31
4.3. Dimensionamientos de alternativas de suministro eléctrico para el sistema de extracción.....	38

---

4.4. Análisis de la inversión .....	59
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	63
Anexo A: Código de programación del control de automatización de encendido y apagado de los ventiladores.....	64
Anexo B: Ficha técnica del panel solar.....	66
Anexo C: Ficha técnica del inversor.....	67
Anexo D: Ficha técnica del ventilador .....	68
Anexo E: Ficha técnica del sensor con el que se midió la temperatura al interior y exterior del invernadero .....	70
Anexo F: Diagrama unifilar de la red de suministro eléctrico de los ventiladores del invernadero.....	71
Anexo G: Plano de distribución eléctrica de las cargas del invernadero.....	72
6. Bibliografía .....	72

## Lista de figuras

<b>Figura 2-1:</b> Sistemas de ventilación forzada representando las diferencias entre un ventilador y un extractor.....	6
<b>Figura 2-2:</b> Instalación de extractores sobre la parte lateral del invernadero. ....	8
<b>Figura 2-3:</b> Instalación de ventilador en la superior del invernadero.....	8
<b>Figura 2-4:</b> Tipos de ventiladores y sus características.....	10
<b>Figura 2-5:</b> Espectro electromagnético.....	11
<b>Figura 2-6:</b> Radiación directa, difusa y reflejada.....	12
<b>Figura 2-7:</b> Sistemas de lazo cerrado.....	17
<b>Figura 3-1:</b> Clima promedio.....	24
<b>Figura 3-2:</b> Resumen del clima.....	24
<b>Figura 3-3:</b> Curva de temperatura anual en Cerrito.....	22
<b>Figura 3-4:</b> Temperatura máxima y mínima promedio.....	22
<b>Figura 3-5:</b> Fotografías del invernadero.....	24
<b>Figura 4-1:</b> Vista superior del invernadero.....	34
<b>Figura 4-2:</b> Placa de Arduino Uno.....	32
<b>Figura 4-3:</b> Imagen y características del sensor DHT22.....	33
<b>Figura 4-4:</b> Módulo relé de 4 salidas.....	33
<b>Figura 4-5:</b> Ficha técnica pantalla LCD.....	34
<b>Figura 4-6:</b> Diagrama de flujo proceso.....	34
<b>Figura 4-7:</b> Diagrama de flujo programación.....	36
<b>Figura 4-8:</b> Esquema técnico de conexión del control.....	37
<b>Figura 4-9:</b> Red eléctrica de media tensión del último poste de distribución.....	42
<b>Figura 4-10:</b> Estructura media tensión.....	42
<b>Figura 4-11:</b> Montaje de transformador en poste.....	44

---

<b>Figura 4-12:</b> Sistema de generación solar fotovoltaico aislado. ....	47
<b>Figura 4-13:</b> Mapa geográfico de irradiación global horizontal media diaria. ....	50
<b>Figura 4-14:</b> Esquema de conexión sistema de generación solar fotovoltaico autónomo para 3 ventiladores.....	54
<b>Figura 4-15:</b> Esquemas de potencia y control de los 3 ventiladores.....	54

## Lista de tablas

<b>Tabla 1-1:</b> Pérdidas de las últimas cinco (5) Cosechas del cultivo de tomate en el Invernadero de la Hacienda Brasilia .....	2
<b>Tabla 3-1:</b> Consolidado de las respuestas de las encuestas realizadas.....	26
<b>Tabla 3-2:</b> Resultados de las mediciones de las variables de interés.....	26
<b>Tabla 4-1:</b> Ficha técnica del ventilador.....	30
<b>Tabla 4-2:</b> Características técnicas de la placa de Arduino Uno. ....	32
<b>Tabla 4-3:</b> Cuadro de cargas eléctricas de los 60 ventiladores. ....	38
<b>Tabla 4-4:</b> Fusibles de media tensión. ....	43
<b>Tabla 4-5:</b> Calibres conductores eléctricos para puentes en transformadores.....	44
<b>Tabla 4-6:</b> Presupuesto requerido para la electrificación del invernadero con red convencional.....	44
<b>Tabla 4-7:</b> Cuadro de cargas eléctricas de 3 ventiladores. ....	47
<b>Tabla 4-8:</b> presupuesto requerido para la electrificación del invernadero con energía solar fotovoltaica.....	58
<b>Tabla 4-9:</b> Tarifa para el mercado regulado.....	59
<b>Tabla 4-10:</b> precio Kwh de la hacienda la Brasilia. ....	59
<b>Tabla 4-11:</b> kWh generados por el sistema solar fotovoltaico aislado. ....	60
<b>Tabla 4-12:</b> Precio si se pagara al operador de red.....	60
<b>Tabla 4-13::</b> Datos de flujo de la inversión solar.....	60
<b>Tabla 4-14:</b> Resultados de la formula VAN suministro SFA. ....	61
<b>Tabla 4-15:</b> Resultados de la formula VPN suministro eléctrico convencional. ....	61



# 1. Introducción

## 1.1. Planteamiento del problema

La hacienda La Brasilia es una finca dedicada a la producción de leche cruda, siembra de caña de azúcar, uva Isabella, maíz dulce, ají jalapeño y tomate chonto, estos tres últimos bajo la modalidad no tradicional de cultivo en invernadero. Los procesos de cultivo se realizan en dos invernaderos, uno de 3500 m<sup>2</sup> y otro de 4500 m<sup>2</sup>.

En el caso del cultivo de tomate, en la forma tradicional se produce bajo el método de libre exposición entre 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar, ubicaciones estratégicas en las cuales se busca una temperatura promedio entre los 18 y 24°C, sin embargo, dadas las problemáticas que afectan la estabilidad de dichas temperaturas, los agricultores están tomando la determinación de implementar sistemas invernaderos con el fin de controlar las condiciones ambientales que permitan obtener la temperatura deseada. No obstante, se han presentado problemas de temperaturas altas en uno de los invernaderos para el cultivo del tomate chonto, ubicado en la hacienda la Brasilia en el municipio de El Cerrito, Valle del Cauca.

De esta forma, las altas temperaturas producen pérdidas en el cultivo (frutos quemados) y problemas de germinación; en la Tabla 1-1 se muestra información de los archivos de la hacienda. En consecuencia, estos problemas afectan la productividad, por lo que se requiere la implementación de un control de temperatura. En este invernadero se siembran aproximadamente 8000 plantas, de las cuales cada una produce aproximadamente 6 kilos de tomate. El tomate se comienza a cosechar a partir de los 70 días y a partir de allí hasta los 270 días que dura todo el cultivo desde siembra hasta última cosecha y erradicación es decir se cosecha durante 200 días.

Por otra parte, las altas temperaturas internas en el invernadero no solo afectan los cultivos, sino que también la salud de los colaboradores que realizan los procesos internos. Alta deshidratación, incapacidad para permanecer horas seguidas en el invernadero, insolación y hasta desmayos se producen en el recurso humano.

**Tabla 1-1:** Pérdidas de las últimas cinco (5) Cosechas del cultivo de tomate en el Invernadero de la Hacienda Brasilia.

200 días de Cosecha	Producción (Kg)	Producción Perdida (Kg)	Porcentaje de Pérdidas
Cosecha 1	59560	648	1,09%
Cosecha 2	64225	1623	2,53%
Cosecha 3	48814	1715	3,51%
Cosecha 4	52320	2530	4,84%
Cosecha 5	49370	2836	5,74%

**Fuente:** Información suministrada por el productor (Castro J., 2020).

## 1.2. Justificación

En este proyecto se pretende realizar el diseño de un sistema de extracción de calor para el invernadero. Además, se quiere responder la siguiente pregunta ¿qué alternativa para el suministro eléctrico de ese sistema es el más adecuado desde el punto de vista técnico-económico? Por lo que se plantean 2 alternativas posibles: la convencional con red eléctrica de baja tensión y un sistema solar fotovoltaico aislado.

Por otro lado, permite a los propietarios de la hacienda la Brasilia tener elementos de decisión para mejorar los procesos del cultivo del tomate y posteriormente, mejorar la calidad y rentabilidad de las cosechas. Debido a que en la ubicación de la hacienda la Brasilia las corrientes de aire no son suficientes para aprovechar una ventilación natural, ya que se han realizado ensayos en los invernaderos con ventanas amplias,

desafortunadamente no se ha logrado reducir las temperaturas que durante el día llegan hasta los 45°C al interior del invernadero (con respecto a la temperatura máxima exterior de 32°C). Así, se considera que el invernadero de tomate requiere un sistema de ventilación activa, que permita reducir el calor que afecta directamente el proceso de germinación de las plantas, y la salud del personal que labora en el cultivo.

A partir de lo expuesto por (Martínez y Roca, 2011), al aumentar el nivel de tecnología se puede enfrentar al mercado de manera más efectiva. La investigación es relevante porque el tomate, considerado como la hortaliza de mayor importancia a nivel nacional e internacional (Escobar & Lee, 2009), cada vez más la tendencia se orienta a su cultivo en invernadero.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar 2 alternativas de suministro eléctrico para un sistema de ventilación activa de un cultivo de tomate chonto en un invernadero de la hacienda la Brasilia.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar las condiciones óptimas (temperatura, humedad relativa, entre otras) para el cultivo en sitio de instalación del invernadero.
- Tomar mediciones de las variables de interés para identificar la situación actual a mejorar.
- Diseñar el sistema de extracción de calor del invernadero de acuerdo a los requerimientos encontrados.
- Dimensionar el sistema de automatización que permita controlar las variables de diseño.
- Dimensionar las dos alternativas para el suministro eléctrico del sistema de extracción.
- Seleccionar la alternativa de mayor viabilidad de acuerdo a criterios técnicos y económicos.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Invernaderos para el cultivo de tomate chonto**

Debido a los diferentes problemas (plagas y condiciones climáticas inapropiadas) a las que están expuestos los cultivos sembrados en la intemperie, los productores del territorio nacional han optado por la implementación de sistemas invernaderos (500 hectáreas aproximadamente), lo que les permite un mejor control de los cultivos y posteriormente mejorar la calidad y rentabilidad de su producto. Con este tipo de sistemas se logra en primer lugar, que el cultivo este protegido de la lluvia, y otras condiciones externas perjudiciales del entorno en general, y de igual manera la hermeticidad del área y espacio del cultivo, permitiendo la protección y reducción de los diferentes problemas que pueden presentarse en los cultivos bajo las condiciones externas mencionadas anteriormente (Escobar & Lee, 2009). A continuación, se presentan las repercusiones de las variables más importantes del medio ambiente sobre las plantas de tomate chonto en general.

#### **2.1.1. Temperatura**

Las altas temperaturas al interior del invernadero, no permiten una buena fotosíntesis en las plantas. Las bajas temperaturas inciden en las raíces de la planta y son el medio para el crecimiento de hongos y bacterias.

La humedad adecuada es necesaria, pero está asociada a la temperatura. Cuando la temperatura sube, el aire es capaz de absorber una mayor cantidad de humedad y viceversa. Para regular el exceso de temperatura, se pueden emplear varios medios: ventilación pasiva, ventilación activa y pantallas de sombra. Por otro lado, entre los

---

principales requerimientos a tener en cuenta para un óptimo desarrollo del cultivo de tomate, se destacan los siguientes (Castro J., 2020).

- Temperatura óptima para el desarrollo del cultivo de tomate.
- Los rangos ideales son:
- El crecimiento, desarrollo y polinización del tomate requiere de una temperatura entre 23° y 25° C.
- Por debajo de 15° C. problemas de fecundación.
- Entre los 20° y 30 °C durante el día
- Entre 10 y 17 °C durante la noche.
- Las temperaturas superiores a los 35 °C impactan negativamente, el crecimiento del tallo y frutos, mientras que las temperaturas superiores a 25° e inferiores a 12 °C son adversas al crecimiento de la raíz de la planta.
- Durante la fructificación, las temperaturas inciden sobre el desarrollo de los frutos, acelerándose la maduración a medida que se incrementan las temperaturas.

### **2.1.2. Luminosidad, suelo, agua y humedad relativa**

El tomate requiere condiciones de muy buena luminosidad, de lo contrario los procesos de crecimiento, desarrollo, floración, polinización y maduración de los frutos pueden verse afectados negativamente.

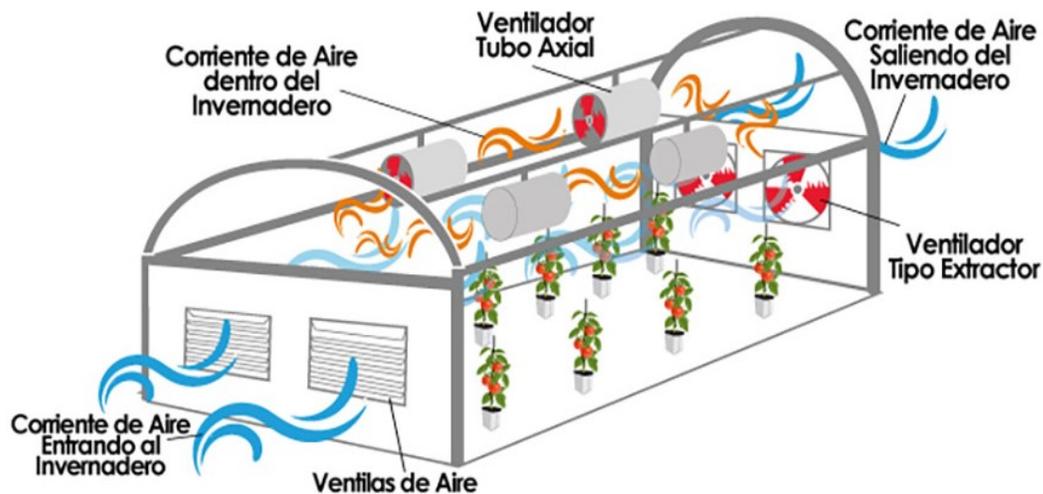
La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, el cual tiene que ser excelente ya que no soporta el anegamiento (salinización del suelo y falta de oxígeno en las raíces de la planta). Prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego. En cuanto a la humedad relativa esta debe estar entre el 60 y 80%.

## 2.2. Ventilación activa

La ventilación es uno de los medios potenciales para controlar las altas temperaturas que se originan al interior de un invernadero, y que podrían llegar a sobrepasar el umbral de tolerancia de las plantas. Al respecto hay dos posibles sistemas de ventilación al interior de un invernadero, sistemas de ventilación natural o pasiva y sistemas de ventilación activa. El más común en invernaderos es la ventilación natural, un método simple y económico siempre y cuando se cuente con adecuadas corrientes de aire que faciliten la ventilación interna (Martínez & Roca, 2011).

Cuando los sistemas de ventilación al interior de un invernadero proceden de alguna intervención con maquina o equipo especializado, se habla de ventilación activa, también mencionada como sistemas de ventilación forzada (IDAE, 2008) como se observa en la Figura 2-1.

**Figura 2-1:** Sistemas de ventilación forzada representando las diferencias entre un ventilador y un extractor.



**Fuente:** (IEP, 2017)

Estos sistemas de ventilación activa requieren consumos de energía eléctrica, lo cual los pone como segunda opción ante los propietarios de invernaderos. Cuando no es posible aplicar ventilación pasiva (natural), se requiere proyectar los costos de adquisición, instalación, mantenimiento y consumo eléctrico. La ventilación forzada se emplea poco

---

debido a su alto consumo de energía eléctrica. Es frecuente que los ventiladores trabajen como extractores, pero también es posible que trabajen impulsando el aire al interior, creando sobrepresión en el invernadero (Martínez & Roca, 2011). Sin embargo, a favor se identifica que estos sistemas permiten un control más preciso de la temperatura del invernadero con respecto a la ventilación pasiva. Debe aclararse que, aunque los ventiladores y los extractores son equipos similares en sus características físicas, su función es diferente, mientras los ventiladores buscan recircular el volumen de aire en el interior del invernadero, evitando la acumulación de este aire fundamentalmente en la parte superior, los extractores renuevan el aire mediante la expulsión hacia el exterior del aire caliente.

Los equipos extractores son ventiladores de palas helicoidales que fuerzan la ventilación activa del invernadero en aquellos momentos del día en los que la ventilación natural cenital no permite alcanzar una tasa de renovación del aire adecuada. Su función es homogeneizar el ambiente interior: extraen el aire caliente y húmedo del invernadero, siendo el volumen extraído sustituido por aire procedente del exterior, con lo que se permite un reparto homogéneo del CO<sub>2</sub> y se evita una estratificación del calor y la humedad (IEP, 2017). Por otro lado, es muy frecuente que los ventiladores trabajen como extractores, pero también es posible que trabajen impulsando el aire al interior, creando sobrepresión en el invernadero, lo cual permite inferir que el equipo puede ser el mismo pero su ubicación determinara la labor que ejerce en relación a ventilación activa (Martínez & Roca, 2011).

Los autores también recomiendan en algunos casos que la capacidad del extractor sea suficiente para lograr mover 1 a 3/4 de renovaciones del volumen interno del invernadero por minuto, a unos 3 mm de columna de agua de presión estática (30 Pa); así mismo se recomiendan caudales máximos de 2 a 3 m<sup>3</sup>/min por m<sup>2</sup> de suelo. En cuanto a la ubicación como se muestra en las figuras 2-2 y 2-3, se recomienda que el espacio entre estos aparatos sea de 8 a 10 metros y de 30 a 40 metros sea la distancia máxima recomendada hasta las ventanas (FAO, 2002).

8 Análisis de alternativas para el suministro eléctrico de un sistema de ventilación activa para un invernadero de la hacienda la Brasilia

---

**Figura 2-2:** Instalación de extractores sobre la parte lateral del invernadero.



**Fuente:** (Baltazar J., 2014).

**Figura 2-3:** Instalación de ventilador en la superior del invernadero.



**Fuente:** (Baltazar J., 2014).

La norma ANSI/ASAE EP406.4 ofrece lineamientos para estas aplicaciones, como los ya mencionados. No obstante, uno de los más importantes es el cálculo de la tasa de ventilación, que se calcula para cada cultivo protegido en un invernadero.

Se obtiene de un balance energético aproximado aplicado al invernadero, considerando las condiciones del aire que entra y que sale, el cultivo, las condiciones ambientales del lugar, las condiciones del invernadero y las diferencias de temperatura (ASAE, 2003), el cual se muestra en la ecuación 2.1

$$(1 - E)\tau IA_f = UA_c(t_i - t_o) + \left(\frac{Q_v A_f C_{p,ex}}{v_{ex}}\right)(t_{ex} - t_{inlet}) \quad (2.1)$$

Donde:

$E$  = es la evapotranspiración del cultivo (adimensional).

$\tau$  = es la transmisividad solar del material de la cubierta (adimensional).

$I$  = es la radiación solar del lugar del invernadero ( $W/m^2$ ).

$A_f$  = es el área superficial del invernadero ( $m^2$ ).

$A_c$  = es el área superficial de la cubierta del invernadero ( $m^2$ ).

$v_{ex}$  = es el volumen específico del aire que sale del invernadero ( $m^3/kg$ ).

$Q_v$  = es la tasa de ventilación para el invernadero por unidad de área superficial ( $m^3/s \cdot m^2$ ).

$C_{p,ex}$  = es el calor específico a presión constante del aire que sale del invernadero ( $J/kg \cdot ^\circ C$ ).

$t_{ex}$  = es la temperatura del aire que sale del invernadero ( $^\circ C$ ).

$t_{inlet}$  = es la temperatura del aire que entra al invernadero ( $^\circ C$ ).

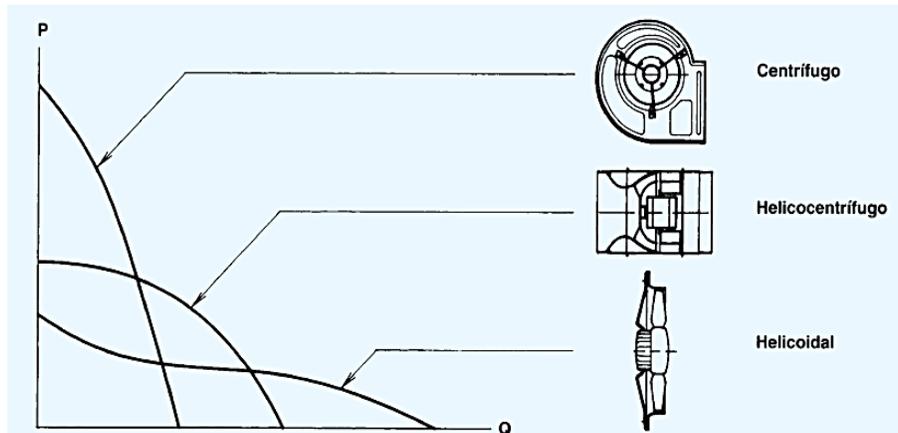
$t_i$  = es la temperatura al interior del invernadero ( $^\circ C$ ).

$t_o$  = es la temperatura al exterior del invernadero ( $^\circ C$ ).

$U$  = Coeficiente total de transferencia de calor ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

En cuanto al tipo de extractor, existen diferentes tipos. De acuerdo a la trayectoria del flujo a través del impulsor, están los de flujo centrífugo, flujo axial y flujo mixto (helicentrífugo), que se observan en la figura 2-4. Los centrífugos proporcionan mayor presión con bajos caudales, los axiales proporcionan caudales mayores con presiones menores y los de flujo mixto están entre los dos mencionados (Escoda S., 2011). De igual manera que con los diferentes tipos de ventiladores, se deben calcular los conductos y considerar los accesorios necesarios que resultan claves para el proceso de ventilación activa. La literatura menciona que solamente se requieren guardas para los motores de los ventiladores y las rejillas en las partes laterales del invernadero. El ruido también es un aspecto a considerar en la selección de un ventilador, debe respetar los niveles permitidos.

**Figura 2-4:** Tipos de ventiladores y sus características.



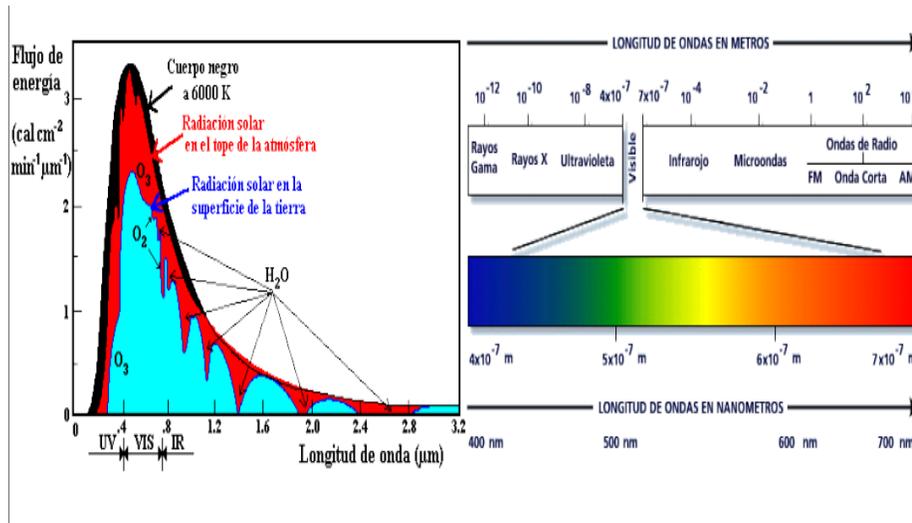
**Fuente:** (Escoda S., 2011).

### 2.3. Conceptos fundamentales sobre energía solar

El sol emite en toda la gama del espectro electromagnetismo, pero para los fines de aprovechamiento de energía solo es importante la llamada radiación térmica, que tiene ultravioleta (UV), visible (VIS) e infrarroja (IR) como se muestra en la figura 2-5. Los cuerpos emiten una cantidad de energía en función de su temperatura, a mayor temperatura ocurren cambios en la radiación emitida:

- la intensidad de emisión es mayor.
- El color o tipo de radiación cambia hacia una menor longitud de onda, a medida que aumenta la temperatura.

Figura 2-5: Espectro electromagnético.



Fuente: (Márquez J., 2014).

### 2.3.1. La radiación solar terrestre

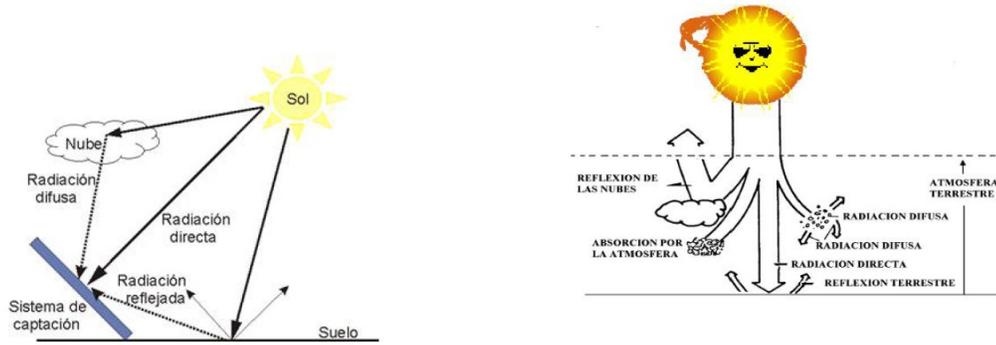
Para alcanzar la superficie terrestre, la radiación solar debe atravesar la atmósfera donde experimenta fenómenos de reflexión, absorción y difusión que disminuyen la intensidad final.

La radiación solar se puede clasificar en radiación directa (*ID*), es decir, radiación sin ninguna incidencia y la radiación difusa (*Idf*) que se refiere a la difundida por la atmósfera. La radiación directa y difusa se reflejan en todas las superficies en la que inciden, dando lugar a la radiación reflejada (*IA*) o de albedo como se observa en la figura 2-6.

La radiación solar global (*IG*) expresada en  $W \cdot m^2$ , es la suma de las tres anteriores, y es la que puede ser aprovechada para la transformación térmica, de acuerdo a la ecuación 2.2.

$$IG = ID + Idf + IA \tag{2.2}$$

Figura 2-6: Radiación directa, difusa y reflejada.



Fuente: (Hernández L., 2018).

### 2.3.2. Inclinación

El efecto de inclinación de la superficie se verá afectado por el ángulo de incidencia de los rayos solares. El ángulo va cambiando a lo largo del día, pero también es distinto según el momento del año, y la situación en la que se encuentra la tierra con respecto al sol. Para ello se debe conocer la altura solar a medio día para saber con qué ángulo inciden los rayos solares, usando la ecuación 2.3.

$$\alpha_{\text{mediodia}} = 90 - \text{latitud} \pm (23,45 \pm 0,26d) \quad (2.3)$$

Por otro lado, se debe tener en cuenta la latitud donde se pondrá la instalación, la cual es seleccionada dependiendo el clima, ya sea de verano a invierno o viceversa, en el primer caso se tomará el positivo (+) y en el segundo el negativo (-), de igual forma la  $d$  es el número de días transcurridos desde verano o desde invierno con respecto a la estación o clima inicial.

El signo de  $0,26d$  depende del sentido de dirección de la tierra, así, el solsticio de invierno es el más desfavorable e igual a  $-23,45$  y a partir de este valor se va incrementando hasta llegar a verano con  $+23,45$ .

### 2.3.3. Sistemas fotovoltaicos

La tecnología solar fotovoltaica (FV), consiste en una conversión directa de la radiación del sol en electricidad. La energía solar fotovoltaica en la actualidad es aplicada principalmente para generar electricidad de manera limpia y amigable con el medio ambiente, ya sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no están conectados a la red eléctrica convencional (sistemas fotovoltaicos autónomos) o para generar energía adicional a la red eléctrica convencional (sistemas conectados a la red).

Se puede realizar una primera clasificación de los sistemas fotovoltaicos en función si están conectados a la red eléctrica convencional. En general un sistema fotovoltaico está formado por:

- Generador fotovoltaico (módulos, paneles).
- Inversor.
- Baterías.
- Regulador de carga.
- Consumo (carga).

Por otro lado, entre las ecuaciones comúnmente utilizadas para dimensionar y calcular sistemas fotovoltaicos (SunFields, 2007) se destacan las siguientes:

La ecuación 2.4 permite hallar el consumo medio diario de energía en *Wh/dia*.

$$L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} * \eta_{con}} \quad (2.4)$$

Donde,

$L_{md,DC}$  = consumo diario de energía de las cargas en DC (*Wh/dia*).

$L_{md,AC}$  = consumo diario de energía de las cargas en AC (*Wh/dia*).

$\eta_{inv}$  = rendimiento del inversor (%).

$\eta_{bat}$  = rendimiento de la batería (%).

$\eta_{con}$  = rendimiento del conductor (%).

La ecuación 2.5 permite calcular la intensidad de corriente generada en *Ah/día*.

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{bat}} \quad (2.5)$$

Donde,

$L_{md}$  = consumo medio diario.

$V_{bat}$  = tensión del banco de baterías (V).

La ecuación 2.6 permite calcular las horas solar pico en *h*.

$$HSP = \frac{I_{sz}}{1000W/m^2} \quad (2.6)$$

Donde,

$I_{sz}$  = es la irradiación solar en la zona ( $Wh/m^2$ ).

$1000W/m^2$  = es la hipotética irradiancia solar constante ( $W/m^2$ ).

La ecuación 2.7 permite obtener el número o cantidad de paneles solares necesarios en un.

$$N_T = \frac{L_{md}}{P_{MPP} * HSP * PR} \quad (2.7)$$

Donde,

$P_{MPP}$  = potencia del panel (W).

$HSP$  = horas solar pico (h).

$PR$  = factor global de funcionamiento que varía entre 0,65 y 0,90. Se selecciona 0.90 por defecto.

La ecuación 2.8 permite hallar la cantidad de energía producida por el panel en *Wh/día*.

$$E_P = P_{MPP} * HSP * PR \quad (2.8)$$

La ecuación 2.9 permite calcular el número de paneles conectados en serie.

$$N_{serie} = \frac{V_{bat}}{V_{MOD,MPP}} \quad (2.9)$$

Donde,

$V_{MOD,MPP}$  = tensión panel solar (V).

La ecuación 2.10 permite obtener el número de paneles conectados en paralelo.

$$N_{paralelo} = \frac{N_T}{N_{serie}} \quad (2.10)$$

Donde,

$N_T$  = número de paneles necesarios.

$N_{serie}$  = Numero de paneles en serie.

La ecuación 2.11 permite hallar la corriente generada por los paneles en A.

$$I_{GFV,MPP} = \frac{Q_{Ah}}{HSP} \quad (2.11)$$

Donde,

$Q_{Ah}$ : intensidad de corriente generada amperio hora (Ah/dia).

La ecuación 2.12 permite conocer la capacidad de descarga máxima diaria en Wh.

$$C_{nd(Wh)} = \frac{L_{md}}{P_{Dmax,d} \cdot F_{CT}} \quad (2.12)$$

Donde,

$P_{Dmax,d}$  = es la descarga máxima diaria.

$F_{CT}$  = es el factor de corrección por temperatura.

La ecuación 2.13 permite calcular la capacidad de descarga máxima diaria en Ah.

$$C_{nd(Ah)} = \frac{C_{nd(Wh)}}{V_{bat}} \quad (2.13)$$

Donde,

$C_{nd(Wh)}$  = la capacidad de descarga máxima (Wh).

La ecuación 2.14 permite conocer la capacidad de descarga máxima estacional en Wh.

$$C_{ne(Wh)} = \frac{L_{md} \cdot N}{P_{Dmax,d} \cdot F_{CT}} \quad (2.14)$$

Donde,

$N$  = es el número de días de autonomía (d).

La ecuación 2.15 permite hallar la capacidad de descarga máxima estacional en Ah.

$$C_{ne(Ah)} = \frac{C_{ne(Wh)}}{V_{bat}} \quad (2.15)$$

Donde,

$C_{ne(Wh)}$  = es la capacidad de descarga máxima estacional (Wh).

La ecuación 2.16 permite calcular la corriente de entrada al inversor híbrido (inversor/regulador) en A.

$$I_{entrada} = 1,25 \cdot I_{cc,MOD} \cdot N_P \quad (2.16)$$

Donde,

$I_{sc,MOD}$  = corriente de cortocircuito del panel solar (A).

$N_P$  = es el número de paneles en paralelo.

La ecuación 2.17 permite calcular la corriente de salida del inversor híbrido (inversor/regulador) en A.

$$I_{salida} = \frac{1,25 + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{V_{bat}} \quad (2.17)$$

La ecuación 2.18 permite calcular la corriente de salida del inversor híbrido (inversor/regulador) en A.

$$P_{inv} = 1,2 * k * P_{cargasCA+DC} \quad (2.18)$$

Donde,

$P_{cargasCA+DC}$  = es la sumatoria de las potencias de las cargas en DC y AC.

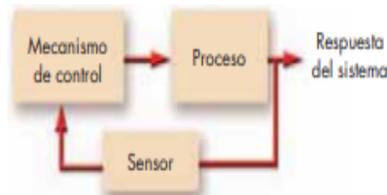
$k$  = coeficiente de incremento de corriente durante el arranque de motores.

## 2.4. Sistema de control

### 2.4.1. Sistema de control en lazo cerrado

En los sistemas de control de lazo cerrado como se observa en la figura 2-7, a diferencia de los sistemas en lazo abierto, existe un sensor capaz de regular el mecanismo de control en función de la respuesta del sistema.

**Figura 2-7:** Sistemas de lazo cerrado.



**Fuente:** (Bessemmer P., 2020).

De acuerdo al trabajo, control y monitorización de un invernadero a través de una aplicación móvil, para obtener el título de master, del autor: (Barroso A., 2015), de la universidad politécnica de Madrid, escuela técnica superior de ingeniería y diseño industrial, donde desarrollo una maqueta de un invernadero, en la cual propuso un controlador arduino enlazado a un sistema operativo Android, con el objetivo de lograr una tarea de control y monitorización sobre dicha maqueta. Se utilizó una placa arduino como tarjeta controladora del sistema y a su vez como tarjeta de adquisición de datos, y se desarrolló una aplicación Android capaz de monitorizar y supervisar el estado del invernadero.

Por otro lado, se desarrolló el proyecto de estudio de investigación de posgrado e investigación llamado supervisión de temperatura y humedad para el cálculo de balance energético en un invernadero con tiempos de muestreo obtenidos de una forma experimental (Luna S., 2018) el cual supervisa con un sistema de adquisición de datos el comportamiento de la temperatura y humedad relativa, y posteriormente mostrando en un indicador la variación de las mismas con respecto al tiempo.

## **2.4.2. Microcontrolador Arduino**

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica con código abierto compuesta por hardware y software de fácil manejo. Arduino puede tomar el entorno mediante la recepción de entradas de datos desde una variedad de Sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros accesorios, Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador.

Las placas se pueden ensamblar manualmente o se adquieren pre ensambladas; el software se descargar directamente desde la página de Arduino, Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que son de fácil manejo. Hay muchos otros microcontroladores y plataformas microcontroladoras disponibles para computación física, Arduino también simplifica el proceso de trabajo, pero ofrece algunas ventajas para profesores y estudiantes sobre otros sistemas, como lo son su economía, fácil programación, código abierto y otras cualidades (Herrador E., 2009).

### 2.4.3. Sensores de medida

Son dispositivos electromecánicos que convierten las magnitudes físicas a valores medibles, como señales análogas o digitales. Los valores análogos están en un rango de 0-10V, y los digitales entre 4-20 mA los cuales se identifican por pulsos. (Torrez, F., 2020).

## 2.5. Red eléctrica convencional

Es una red eléctrica interconectada que permite suministrar y abastecer de energía eléctrica desde el proveedor (responsable de la generación y distribución en los centros de transformación) hasta los receptores o clientes (responsables de la demanda eléctrica). De igual manera, entre los principales elementos que componen los centros de transformación para este tipo de instalaciones según el documento proyecto tipo centros de transformación tipo poste sin neutro (Celsia, 2020) son:

- Apoyo.
- Estructura MT.
- Equipos de protección MT.
- Transformador.
- Herrajes de los equipos de protección, sistemas de aislamiento y del transformador.
- Conexionado.

Por otro lado, las ecuaciones requeridas para el dimensionamiento de los componentes eléctricos del centro de transformación son:

La ecuación 2.19 permite conocer la potencia eléctrica requerida por la carga o ventilador en  $W$ .

$$P_e = V * I * FP \tag{2.19}$$

Donde,

$V$  = es la tensión nominal del ventilador.

$I$  = es la corriente consumida por el ventilador.

*FP= es el factor de potencia del ventilador.*

La ecuación 2.20 permite hallar la potencia aparente de la carga o ventilador en VA.

$$S = P_e/FP \quad (2.20)$$

Donde,

*P<sub>e</sub> = es la potencia eléctrica del ventilador.*

La ecuación 2.21 permite obtener la potencia activa requerida por la cantidad total de ventiladores en W.

$$P_T = NV * P_e * FP \quad (2.21)$$

Donde,

*NV = es el número o cantidad de ventiladores.*

La ecuación 2.22 permite obtener la potencia aparente requerida por la cantidad total de ventiladores en VA.

$$S_T = \frac{P_t}{FP} \quad (2.22)$$

Donde,

*P<sub>T</sub> = Potencia eléctrica.*

La ecuación 2.23 permite calcular la intensidad de corriente eléctrica trifásica por fase en A.

$$I_F = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\phi} \quad (2.23)$$

Donde,

$\cos\varphi$  = es el factor de potencia.

La ecuación 2.24 permite hallar la potencia aparente trifásica en VA.

$$SAF = \sqrt{3} * V * I_F \quad (2.24)$$

Donde,

$V$  = tensión nominal de los ventiladores.

$I_F$  = intensidad de corriente eléctrica trifásica por fase.

La ecuación 2.25 permite obtener la corriente eléctrica de arranque de los ventiladores en A.

$$I_A = k * I_F \quad (2.25)$$

Donde,

$k$  = es la constante que representa el pico de corriente eléctrica durante el arranque de los ventiladores.

La ecuación 2.26 permite calcular el calibre del conductor eléctrico de alimentación desde el tablero hasta el ventilador monofásico en A.

$$C_{Q_{G1}} = 1,3 * I_A \quad (2.26)$$

Donde,

$I_{AV}$  = es la corriente de arranque de los ventiladores.

La ecuación 2.27 permite hallar la protección termomagnética del tablero general en A.

$$Q_G = 1,25 * (3 * I_V) \quad (2.27)$$

Donde,

$I$  = es la corriente nominal de los ventiladores.

La ecuación 2.28 permite determinar la protección termomagnética del circuito del ventilador en A.

$$Q_C = 1,2 * I_V \quad (2.28)$$

Donde,

$I_V$  = es la corriente nominal del ventilador.

La ecuación 2.29 permite dimensionar el calibre del contactor de control del ventilador en A.

$$K_M = 1,15 * I_V \quad (2.29)$$

La ecuación 2.30 permite dimensionar el calibre del relé térmico del ventilador en A.

$$F_T = 1,10 * I_V \quad (2.30)$$

La ecuación 2.31 permite dimensionar el calibre del relé térmico del ventilador en A.

$$I_{mt} = \frac{PN}{\sqrt{3}U_{mt}} \quad (2.31)$$

Donde,

$I_{mt}$ : Intensidad nominal que circula para el devanado primario (A)

$PN$ : Potencia nominal aparente del transformador (KVA)

$U_{mt}$ : Tensión primaria entre fases del transformador (KV)

## 2.6. El valor presente neto (VPN)

El valor presente neto, también reconocido popularmente como valor actual neto, es un indicador que sirve como medio para aceptar o rechazar una determinada propuesta de proyecto o elegir si es el caso la cual resulte más conveniente de un

---

grupo de propuestas luego de un análisis comparado (Mete, 2014). Desde un enfoque más técnico-financiero el indicador se define como “el valor actualizado de la corriente de los flujos de caja que ella promete generar a lo largo de su vida” (Mascareñas J, 1990).

$$VPN = \sum_{i=1}^n \frac{FC}{(1+r)^i} - Iinc \quad (2.32)$$

Donde,

*CF* = flujo de caja constante (COP\$).

*Iinc* = desembolso inicial (COP\$).

*R* = tasa de actualización (%).

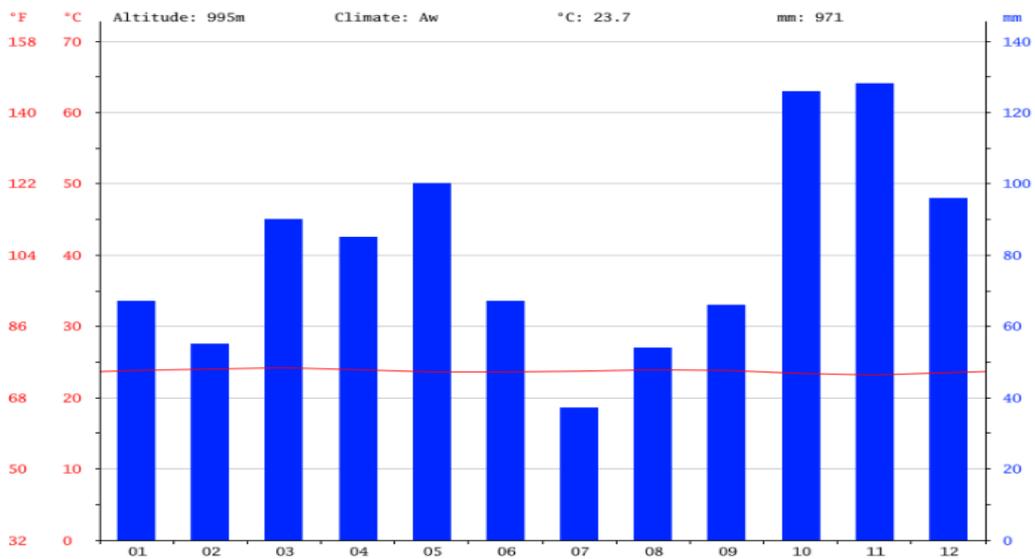
*n*: duración de la inversión en años.

# 3. Caracterización

## 3.1. Clima

En el municipio El Cerrito los veranos son largos y calientes; los inviernos cortos y bochornosos a continuación la figura 3-1, se presentan los parámetros. Donde se aprecian grandes altibajos la temperatura promedio anual es de 28° C.

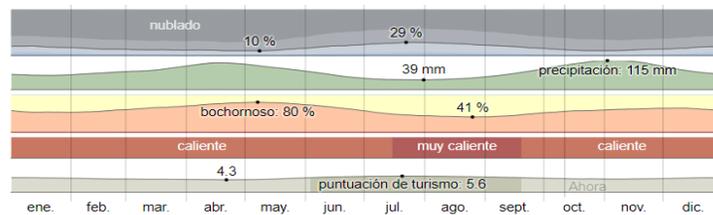
Figura 3-1: Clima promedio.



Fuente: (Weatherspark, 2020).

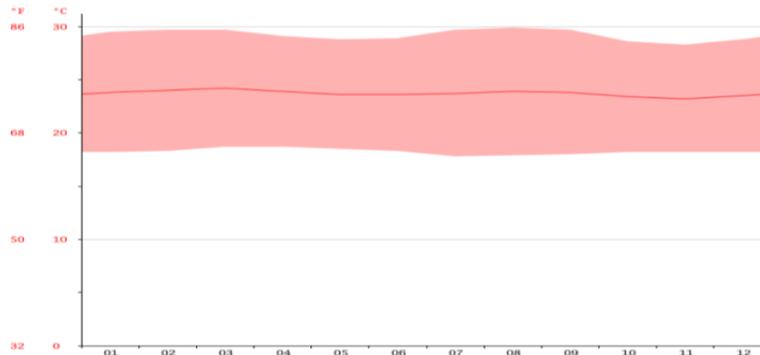
Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varia de 19°C a 30°C , rara vez baja a menos de 17° C o sube a más de 32° C. Como se puede observar en las figuras 3-2, 3-3 y 3-4

Figura 3-2: Resumen del clima.



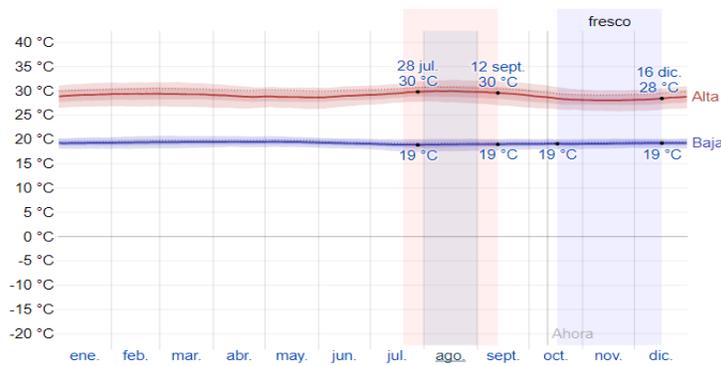
Fuente: (Weatherspark, 2020).

**Figura 3-3:** Curva de temperatura anual en Cerrito.



**Fuente:** (Weatherspark, 2020).

**Figura 3-4:** Temperatura máxima y mínima promedio.



**Fuente:** (Weatherspark, 2020).

### 3.2. Condiciones medioambientales óptimas para el cultivo del tomate Chonto (T, %HR, entre otras)

La razón de este informe es presentar las características actuales del invernadero situado en la hacienda la Brasilia en donde se cultiva Tomate Chonto. Las coordenadas geográficas de la hacienda en El Cerrito son: latitud: 3.68483, longitud: -76.3134, en la cual se produce leche cruda, caña de azúcar, uva Isabella, maíz dulce, ají jalapeño y tomate Chonto estas tres últimas bajo invernadero. La hacienda cuenta con un área total de 69.400 m<sup>2</sup>, subdividida en áreas para los cultivos de uva Isabella. caña de azúcar,

ganadería y un lago alimentado desde una vertiente del brazo del río Amaime, el cual dispone de una motobomba de 10 hp, para llevar a cabo las actividades de riego requeridas en los procesos.

Con respecto a la temperatura, la indicada para el desarrollo vegetativo del cultivo de tomate durante el día debe estar entre 18°-25° C. para el desarrollo productivo debe ser de una temperatura diurna entre 23° C. y 28° C.

La humedad relativa óptima para el desarrollo del cultivo de tomate es de 60% y 80%. Cuando la humedad relativa es alta favorece al desarrollo de enfermedades, se presenta una serie de desórdenes en los frutos que afecta la calidad y la humedad relativa baja, esta aumenta la transpiración de la planta se reduce la fotosíntesis y seca el polen.

### **3.3. Inconvenientes en la producción del tomate Chonto**

En un invernadero existen variables incontroladas del medioambiente como la temperatura, humedad relativa, luminosidad, manejo de insectos plagas, horario ajustado a las horas de visibilidad, las aplicaciones necesarias para contrarrestar los patógenos (bacterias, virus y hongos), la ausencia de suministro eléctrico.

Todas las anteriores y algunas derivadas de las mismas son variables a tener en cuenta para mejorar la producción del tomate Chonto mostrada en la tabla 1-1, que evidencian pérdidas, por lo que se sugieren visitas técnicas para orientar al personal, instruir y enseñar sobre los protocolos a tener en cuenta para evitar el ingreso de agentes externos al invernadero (aseo personal de los trabajadores, aplicación de agroquímicos, controladores orgánicos y uso del paquete fitosanitario).

### **3.4. Características de los invernaderos de la hacienda la Brasilia**

La hacienda la Brasilia ubicada en Cerrito-Valle del Cauca posee 2 invernaderos de 3500 y 4500 m<sup>2</sup> respectivamente.

### 3.4.1. Condiciones climáticas

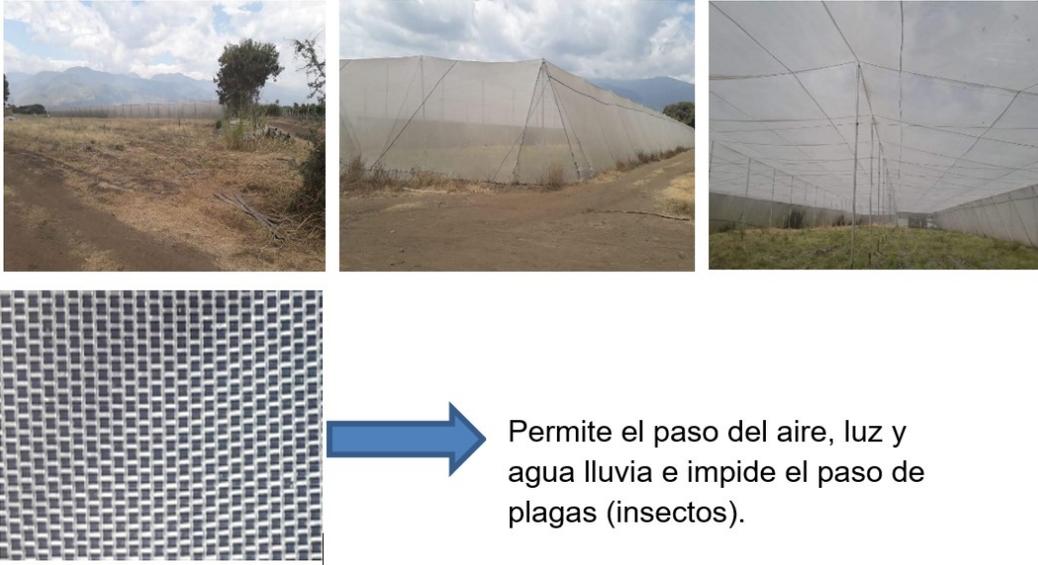
- Externas: constantes variaciones entre climas muy soleado y lluvioso, repercutiendo directamente en la estabilidad de la temperatura y el porcentaje de la humedad relativa.
- Internas: el invernadero está cubierto por una malla antitrips o antiplagas, la cual no garantiza al interior ni la temperatura, ni la humedad relativa necesarias para el cultivo. Por otro lado, las temperaturas en el día son críticas alcanzando los 45° C e incidiendo en la fotosíntesis, debido a las variaciones que se presentan, y en la noche pueden ser tan bajas (principalmente en días lluviosos), y causantes de hongo y bacterias en las plantas. También las variaciones de la humedad relativa al interior del invernadero, afectan las raíces de las plantas.

### 3.4.2. Estructura y condiciones técnicas de los invernaderos

Los invernaderos tienen estructura artesanal (postes en guadua), está cubierto con malla antitrips o antiplagas, sin iluminación eléctrica y sin control para manejar las temperaturas internas.

Con la instalación de malla antitrips como se muestra en la figura 3-5 y buen manejo de puertas de entrada y salida de personal equipos e insumos, se busca reducir al máximo el ingreso y proliferación de insectos plaga causantes de la rotura del fruta y extracción de la savia que ocasionan la muerte de esta y pérdida total del fruto. Por otro lado, el invernadero carece de energía eléctrica, por lo que cualquier intento de implementar cualquier tipo de tecnología para el mejoramiento de la seguridad, calidad, productividad y rentabilidad de la producción, se hace imposible.

**Figura 3-5:** Fotografías del invernadero.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3. Resultados obtenidos en los cultivos de tomate Chonto

El tomate chonto cultivado bajo invernadero produce cosecha durante 6 meses, entregando 5 a 7 kilos por planta y por metro lineal se cultivan 2.5 plantas. Nota comparativa: a intemperie se cosecha durante 3 a 4 meses máximo, entre 3 y 4 kilos por planta, de allí la importancia del invernadero. Los cambios de altas a bajas temperaturas y viceversa al interior de un invernadero, inciden en las plantas, afectando el crecimiento, desarrollo y producción de frutos, pero incrementando la acción de enfermedades ocasionadas por bacterias, virus y hongos, rebajando considerablemente la calidad y producción de las cosechas. De esta forma, el calor se extrae actualmente por medio de ventana (sistema de ventilación pasiva) pero no es eficiente porque la ventilación no abarca todo el volumen del invernadero. Por ahora, este sistema fue descartado y no se está haciendo ningún control de temperatura.

### 3.4.4. Encuesta evaluadora

Uno de los objetivos de este trabajo es encontrar soluciones para la producción, del invernadero de tomate Chonto en la hacienda La Brasilia, buscando sostener el nivel de producción a través del tiempo. Las pérdidas sucesivas ocasionadas por las variaciones en la temperatura, la humedad relativa, la presencia de bacterias, virus y hongos en los

cultivos de tomate Chonto en la hacienda La Brasilia, propiciaron la investigación para saber si los inconvenientes se presentan únicamente en el invernadero objeto del estudio, por el cual se realizó un cuestionario y entrevista a los dueños de los invernaderos aledaños. De las respuestas obtenidas de los diferentes participantes encuestados se concluyó lo siguiente: Un 67% de los problemas en los invernaderos de El Cerrito son comunes, no importando diferencias en las construcciones físicas, proceso de irrigación y tamaños de los invernaderos difieren al estudiado.

**Tabla 3-1** : Consolidado de las respuestas de las encuestas realizadas.

Total Encuestados	Se requiere sistema de ventilación		Se requiere mejor infraestructura	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
30	20	66,66%	10	33,34%

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.6.5. Mediciones de las variables de interés para identificar la situación a mejorar

Entre los resultados obtenidos de las mediciones de temperatura (externa e interna) y humedad relativa, tomadas en el invernadero de  $4500m^2$  de la hacienda la Brasilia, en diferentes horas del día por un periodo de un mes, se resumen en la tabla 3-2 la relación de las variables censadas de las mediciones más críticas diarias del invernadero.

**Tabla 3-2:** Resultados de las mediciones de las variables de interés.

Día	Temperatura Exterior	Temperatura Interior-Censada en Terreno	HUMEDAD RELATIVA INTERNA
03/01/2020	30° C	43.8° C.	30%
04/01/2020	30° C	44.8° C.	29%
05/01/2020	30° C	45.0° C.	30%
06/01/2020	30° C	44.0° C.	30%
07/01/2020	30° C	45.0° C.	32%
08/01/2020	30° C	44.0° C.	35%
10/01/2020	30° C	45.6° C.	29%
11/01/2020	30° C	44.8° C.	29%
03/02/2020	30° C	43.8° C.	32%
04/02/2020	30° C	43.3° C.	30%
07/02/2020	30° C	44.8° C.	30%
08/02/2020	30° C	43.8° C.	29%
09/02/2020	30° C	44.0° C.	34%
10/02/2020	30° C	44.4° C.	29%

30 Análisis de alternativas para el suministro eléctrico de un sistema de ventilación activa para un invernadero de la hacienda la Brasilia

---

12/02/2020	30° C	44.1° C.	35%
13/02/2020	30° C	43.5° C.	29%

**Fuente:** Elaboración propia.

## 4. Análisis Técnico-Económico

### 4.1. Dimensionamiento del sistema de extracción de calor

Para diseñar un sistema de extracción de calor para un invernadero de cultivo de tomate chonto, se deben contemplar las siguientes variables:

#### 4.1.1. Calculo del sistema de ventilación

Para el cálculo del balance de energía se utilizó la ecuación 2.1 descrita en el marco teórico, con el fin de encontrar la tasa de ventilación requerida para el invernadero  $Q_v$ .

Para esto, se obtuvieron los siguientes valores:

$E = 0,78$  (FAO,1998 adimensional, el cual corresponde a la evotranspiración del cultivo de tomate, hallado mediante la metodología descrita en el documento guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos).

$\tau = 0,7$  (transmisividad solar de la cubierta, adimensional)

$I = 600 \text{ w/m}^2$  ( la radiación solar del lugar del invernadero, obtenido de la radiación solar de El cerrito)

$A_f = 4500 \text{ m}^2$  (área del invernadero)

$A_c = 5707,8 \text{ m}^2$  (área superficial del invernadero)

$v_{ex} = 1 \text{ m}^3/\text{kg}$  (volumen específico del aire que sale del invernadero)

$C_{p, ex} = 1,007 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$  (calor específico a presión constante del aire que sale del invernadero)

$t_{ex} = 45^\circ\text{C}$ . (Temperatura del aire que sale del invernadero)

$t_{inlet} = 30^\circ\text{C}$ . (Temperatura del aire que entra al invernadero)

$t_i = 45^\circ\text{C}$ . (Temperatura interior del invernadero)

$t_o = 30^\circ\text{C}$ . (temperatura al exterior del invernadero)

$U = 2,8 \text{ w/m}^2$  (coeficiente total de transferencia de calor)

Despejando y resolviendo la ecuación 2.1 se obtiene el valor para la tasa de ventilación:

$$Q_v = \frac{\left[ (1 - 0,78) * 0,7 * 600 \frac{\text{w}}{\text{m}^2} * 4500 \text{m}^2 - \frac{2,8 \text{w}}{\text{m}^2} * \text{°C} * 5707,8 \text{m}^2 (45\text{°C} - 30\text{°C}) \right] * 1 \text{ m}^3 / \text{kg}}{(45\text{°C} - 30\text{°C})(4500 \text{m}^2 * 1,007 \text{ J/kg°C})}$$

$$Q_v = \frac{\left[ (0,22) * 1890000 \text{ w} - 15981,84 \frac{\text{w}}{\text{°C}} (15\text{°C}) \right] * 1 \text{ m}^3 / \text{kg}}{(15\text{°C}) * (4531,5 \text{ J} * \text{m}^2 / \text{kg°C})}$$

$$Q_v = \frac{[415800 \text{ w} - 239727,6 \text{ w}] * 1 \text{ m}^3 / \text{kg}}{58909,5 \text{ Jm}^2 / \text{kg}}$$

$$Q_v = \frac{[176072,4 \text{ w}] * 1 \text{ m}^3 / \text{kg}}{67972,5 \text{ Jm}^2 / \text{kg}}$$

$$Q_v = \frac{176072,4 \text{ w} * \text{m}^3 / \text{kg}}{67972,5 \text{ w.s. m}^2 / \text{kg}}$$

$$Q_v = 2,59 \frac{\text{m}^3}{\text{s} * \text{m}^2}$$

#### 4.1.2. Calculo del área para Qv

La norma indica que la distancia máxima entre cada ventilador debe ser igual o menor a 7m de distancia (ASAE, 2003). Así, cada ventilador se instalará en los extremos laterales del invernadero, a una distancia de 2,23m uno con respecto al otro. A continuación, se efectúan los siguientes cálculos requeridos para situar e instalar el total de los ventiladores requeridos. La ecuación 4.1 es utilizada para hallar el área de ventilación.

$$AV = \frac{L}{NV} * L = \frac{67,10 \text{ m}}{60} * 67,10 = 75,04 \text{ m}^2 \quad (4.1)$$

Donde,

AV: área de ventilación.

L: longitud lateral del invernadero.

NV: número de ventiladores requeridos.

Posteriormente se debe convertir la tasa de ventilación para calcular el caudal de renovación del invernadero (QRI), como se expresa en la ecuación 4.2.

$$QRI = Qv * AV = 2,59 \frac{m^3}{s * m^2} * 75,04 m^2 = 194,3 m^3/s \quad (4.2)$$

Luego de obtener el valor de QRI, se calcula el caudal a desplazar con cada ventilador, según la ecuación 4.3.

$$Qdv = \frac{QRI}{NV} \quad (4.3)$$

$$Qdv = \frac{194,3 m^3/s}{60} = 3,2 m^3/s$$

Finalmente se debe aplicar el factor de conversión de la ecuación 4.4, para convertir el valor del resultado obtenido a las unidades de medida específicas para seleccionar de catálogo el ventilador requerido. En la tabla 4-1 se muestra la ficha técnica del ventilador seleccionado.

$$3,2 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1H} = 11520 m^3/h \text{ Caudal requerido para el ventilador} \quad (4.4)$$

**Tabla 4-1:** Ficha técnica del ventilador.

	QV un. (caudal $m^3/h$ )	No. de ventilad ores	Diámetro cada uno	Potencia ventilador	Potencia total	Tensión	Intensidad A	rpm
Ventilador A HIBT	12110	60	1008 mm	1/3 hp	20 hp	127 Vac	6,6 A.	570

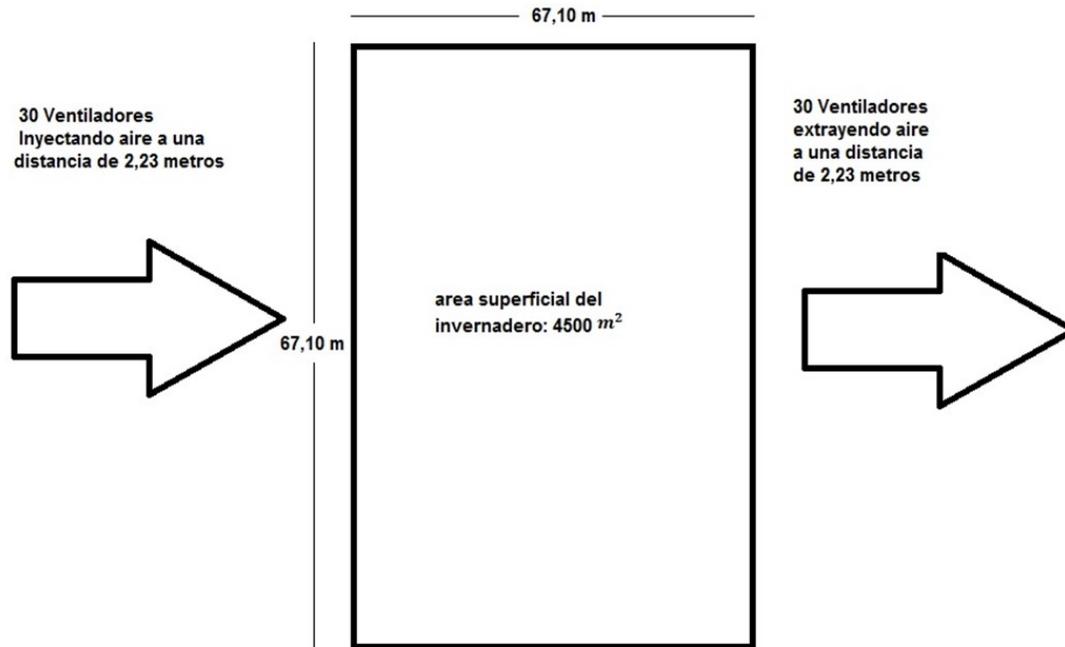
**Fuente:** (HIBT, 2020).

No se calcularon perdidas ya que, en la ecuación (2.1) despejada de la FAO, se están asumiendo las variables ambientales del lugar donde está ubicado el invernadero (se asumen valores reales y no temperaturas, humedad y/o radiación solar estándar), como tampoco se proyecta en el diseño el uso de un sistema de tuberías.

La ubicación propuesta según la bibliografía consultada para los ventiladores, recomiendan que sean instalados a los lados laterales del invernadero, ubicando 30 un a

cada lado, empotrados en una estructura metálica, a una distancia entre ellos de 2,23 metros y una altura de 2,5 metros, ocupando un área por lado de 30,24 m<sup>2</sup>.

**Figura 4-1 :** Vista superior del invernadero.



**Fuente:** Elaboración propia del autor.

## 4.2. Control y automatización del sistema de ventilación

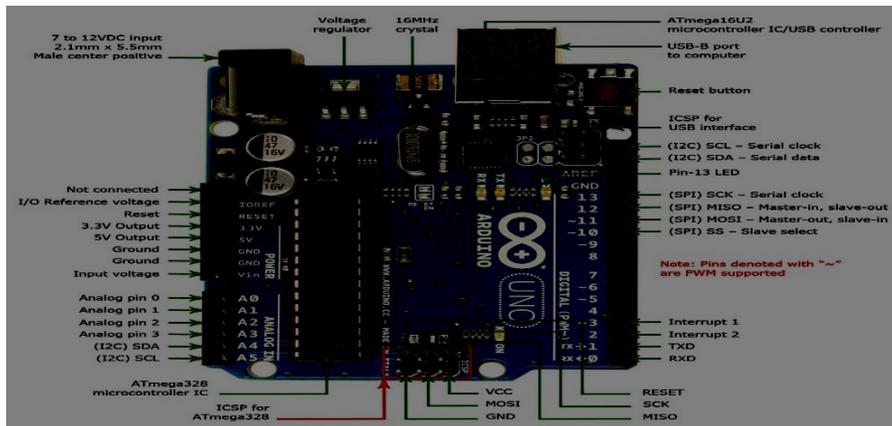
Los autores de la FAO recomiendan que los ventiladores deben activarse secuencialmente y en grupos igualmente espaciados en respuesta a las necesidades de enfriamiento.

### 4.2.1. Materiales y características

Se dimensiona un sistema de control basado en la plataforma Arduino uno, con sensores de humedad relativa, temperatura y módulo de relés que reciben la orden de apertura y cierre a los contactores que activan o desactivan los ventiladores de acuerdo a los requerimientos de temperatura del invernadero.

- Arduino uno: es una board que se basa en un micro controlador Atmega 328, tiene 14 pines de entrada /salida digital (de los cuales 6 pueden ser utilizados para salidas PWM), 6 entradas análogas, un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB tipo hembra. En la figura 4-2 se muestra una placa real de arduino con sus características y en la tabla 4-2 las características técnicas.

Figura 4-2: Placa de Arduino Uno.



Fuente: (Diaz J., 2016)

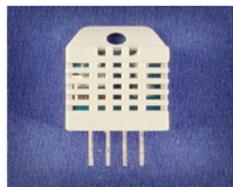
Tabla 4-2: Características técnicas de la placa de Arduino Uno.

Tipo de Microcontrolador	ATmega328
Voltaje Operativo	5v
Voltaje de Entrada (Recomendado)	7 - 12 v
Pines de Entradas/Salidas Digital	14 (De las cuales 6 son salidas PWM)
Pines de Entradas Análogas	6
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad del Reloj	16 MH

Fuente: (Diaz J., 2016).

- Sensor DHT 22: sensor con salida digital, compuesto por un sensor de humedad capacitivo y un termistor, también consta de un circuito básico integrado que hace la conversión de analógico a digital y envía la señal digital con la temperatura y humedad. Las variables del invernadero serán tomadas por el sensor. En la figura 4-3 se muestra la imagen y características técnicas del sensor seleccionado para la instalación.

**Figura 4-3:** Imagen y características del sensor DHT22.



Modelo	DHT22
Alimentación	3.3-6V CD
Señal de salida	Señal digital a través de un solo bus
Elemento de detección	Capacitores de polímero
Rango de operación	humedad 0-100%RH; temperatura 40-80Celsius
Exactitud	humedad +2%RH(Max +-5%RH); temperatura <+0.5Celsius
Resolución o sensibilidad	humedad 0.1%RH; temperatura 0.1Celsius
Repetibilidad	humedad +-1%RH; temperatura +-0.2Celsius
Humedad de histéresis	+0.3%RH
Estabilidad a largo plazo	+0.5%RH/curso
Periodo de detección	Exactitud: 2s
Intercambiabilidad	Totalmente intercambiables

**Fuente:** (Liuaosong T., 2020).

- Módulo relé: Esta es una placa relé de 4 canales de 5 V y cada canal necesita una corriente de 10 a 15 mA, con capacidad para controlar equipos con gran carga, está equipado con relés de alta corriente. Funcionan a 250 Vac a 10Ay 30 Vdc a 10<sup>a</sup>. En la figura 4-4 se muestra la imagen y características técnicas del Relé de 4 salidas.

**Figura 4-4:** Módulo relé de 4 salidas.



**Fuente:** (Avelectronics, 2020).

- Pantalla LCD: pantalla LCD, que significa Liquid Cristal Display. Esta posee pines de entrada y salida y está diseñada para mostrar la información. En la figura 4-5 se presentan las características técnicas de la pantalla LCD.

**Figura 4-5:** Ficha técnica pantalla LCD.

Item	Dimension	Unit
Number of Characters	16 characters x 2 Lines	—
Module dimension	84.0 x 44.0 x 13.5(MAX)	mm
View area	66.0 x 17.0	mm
Active area	56.20 x 11.5	mm
Dot size	0.55 x 0.65	mm
Dot pitch	0.60 x 0.70	mm
Character size	2.95 x 5.55	mm
Character pitch	3.55 x 5.95	mm
LCD type	STN, Positive, Transflective, Gray	
Duty	1/16	
View direction	6 o'clock	
Backlight Type	LED Amber	

**Fuente:** (Crystalfontz A., 2020).

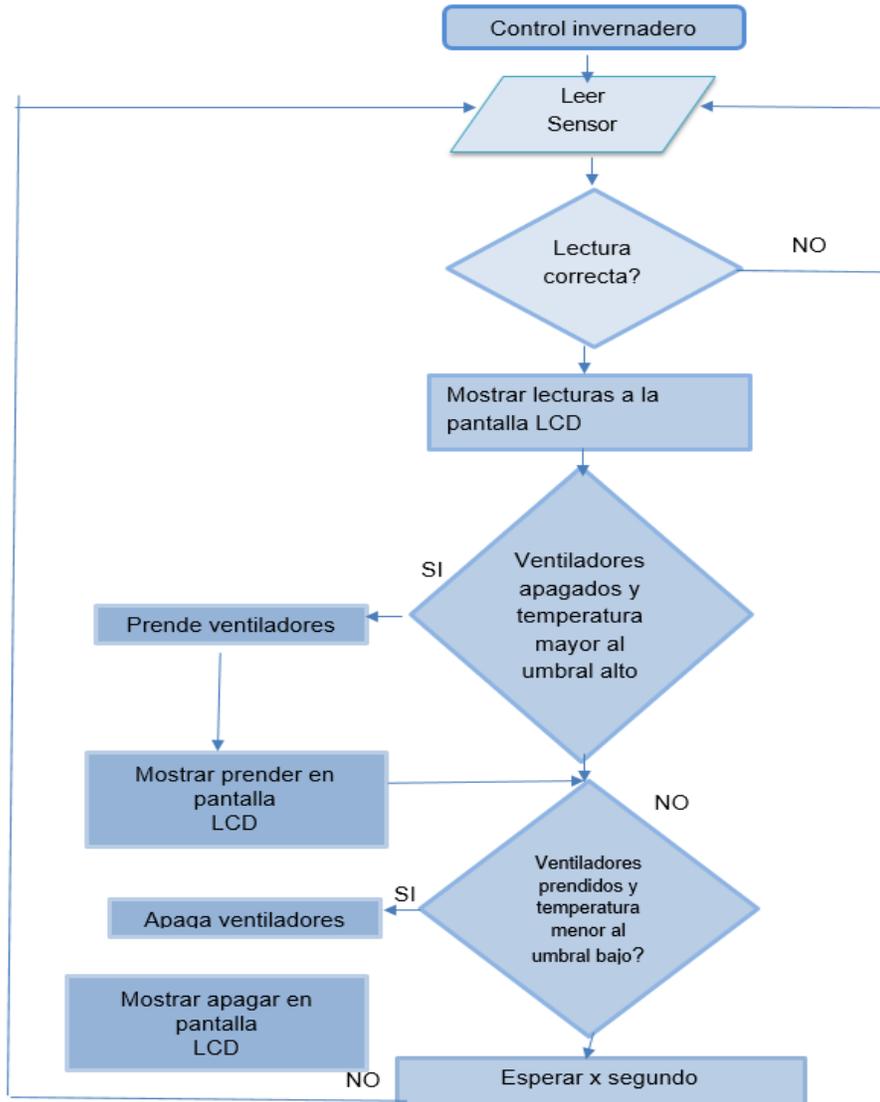
## 4.2.2. Conexión del control

Para el diseño y selección del tipo de control a considerar, se realizó un diagrama de flujo de proceso, como se presenta en la figura 4-6, en el cual se explica que pasos debe tener el control de temperatura dentro de los parámetros requeridos. Posteriormente en la figura 4-7 se presenta el diagrama de operación, el cual parte de dos parámetros de temperatura, programados mediante el código de arduino uno (anexo A), las cuales son temperaturas parametrizadas como el umbral alto (35° C) y bajo (32° C), detectadas por el sensor DHT 22 y procesadas por el microcontrolador, actuando de la siguiente manera: si al interior del invernadero la temperatura es menor a 32°C, los ventiladores permanecen apagados y los sensores siguen realizando su actividad de sensado; si la temperatura al interior es superior a 35°C, el sensor envía una señal al arduino para que de la orden de encendido o apagado de los ventiladores. Por ultimo en la figura 4-8 se presenta el esquema de conexión de las entradas y salidas del arduino uno, el cual básicamente muestra como la señal proveniente de los sensores ingresa por la entrada del microcontrolador, y posteriormente la señal que sale de este, es enviada al relé mediante un impulso eléctrico encargado de energizar la bobina del contactor encargado del encendido y apagado de los ventiladores.

Este control se emplea en tres ventiladores, por sus limitaciones de distancia en los sensores, es decir que el sistema de ventilación tendrá un total de 20 placas Arduinos

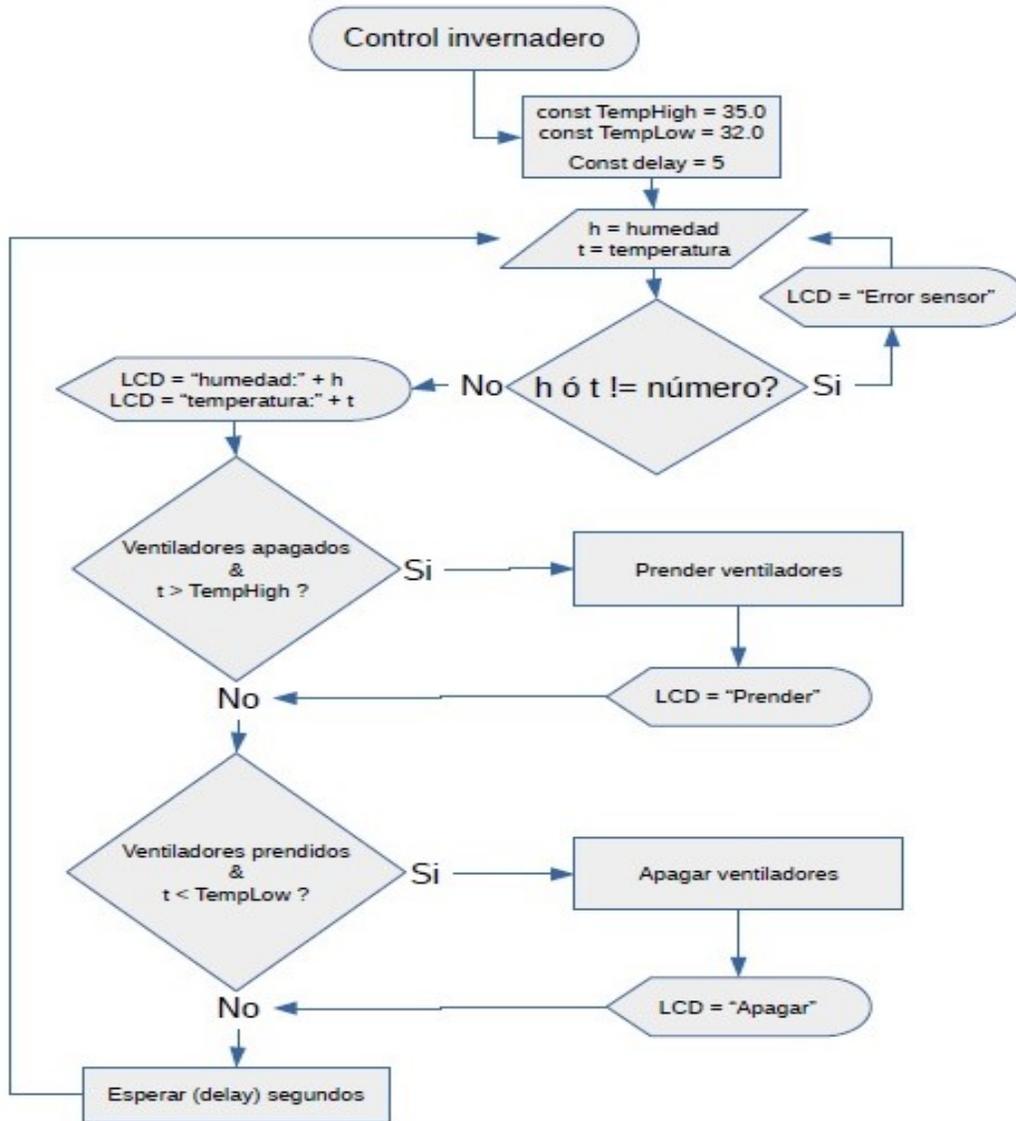
con sus componentes para el encendido de los 60 ventiladores que componen la ventilación activa del invernadero, teniendo como ventaja un arranque de estos en diferentes momentos evitando un pico de arranque por el encendido al tiempo de todos ventiladores

**Figura 4-6:** Diagrama de flujo proceso.



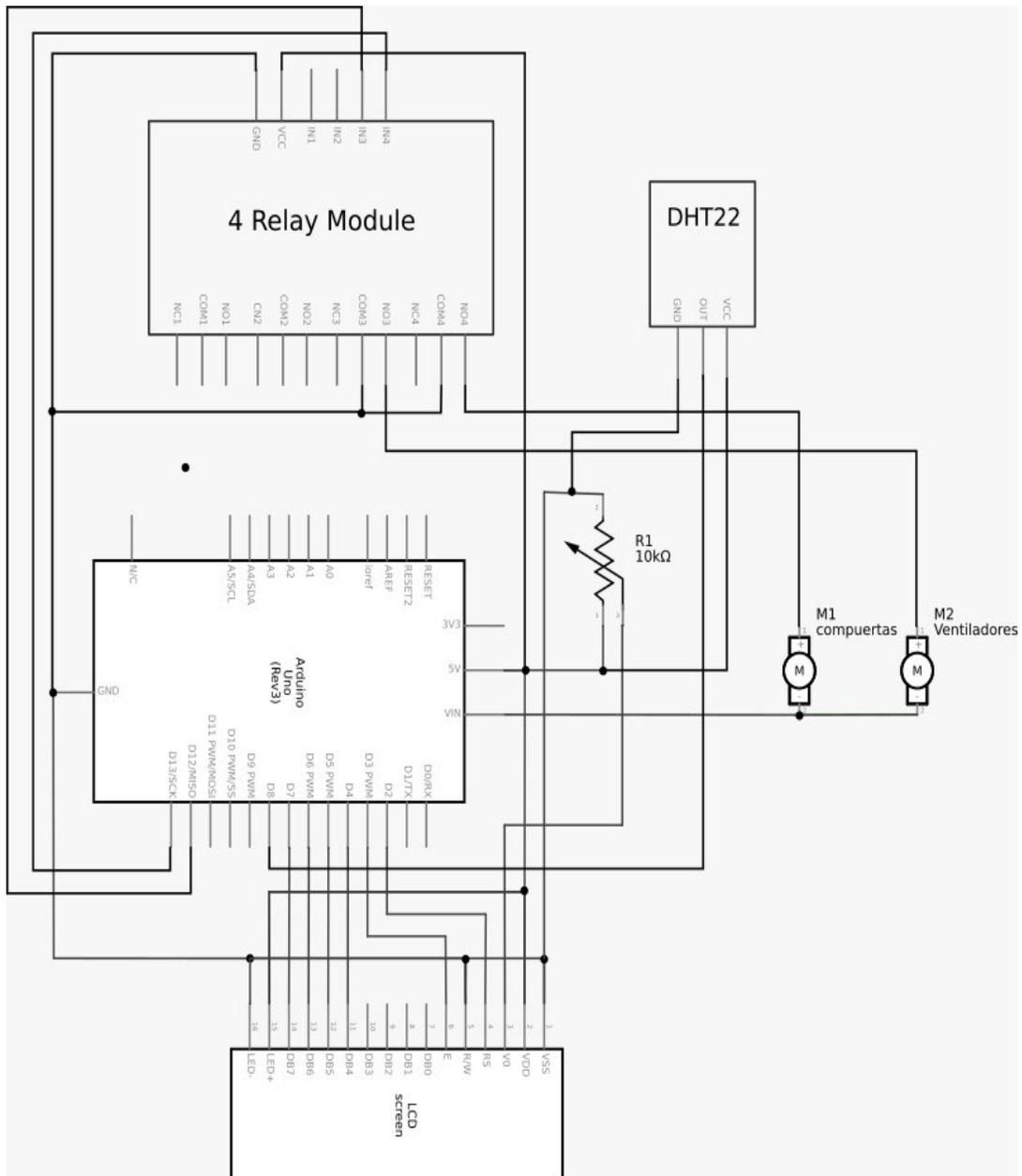
**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 4-7: Diagrama de flujo programación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-8: Esquema técnico de conexión del control.



Fuente: Elaboración propia.

## 4.3. Dimensionamientos de alternativas de suministro eléctrico para el sistema de extracción

### 4.3.1. Demanda eléctrica del invernadero

Para suplir la demanda eléctrica de acuerdo a la carga requerida del sistema de ventilación activa del invernadero, se realiza el siguiente dimensionamiento de acuerdo al tiempo de operación estimado, número de ventiladores y potencia requerida por cada ventilador, como se muestra en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Cuadro de cargas eléctricas de los 60 ventiladores.

Cant.	Carga	Potencia Mecánica (hp)/un	Potencia Eléctrica (W)/un	Tensión (V)	Corriente (A)	Tiempo de Operación (h)	Total Energía (Wh)	Total Energía * Factor de Seguridad del 1,2
60	Ventilador	1/3	670,5	127	6,6	6	241380	289656

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, se calculan los datos de las variables a tener en cuenta para el dimensionamiento de los componentes requeridos para el sistema con respecto a la demanda energética.

Con la ecuación 2.19 especificada en el capítulo 2, se calcula la potencia eléctrica, así:

$$P_e = V * I * FP$$

$$P_e = 127 * 6,6 * 0,8$$

$$P_e = 670,5 W$$

Una vez obtenida la potencia eléctrica, con la ecuación 2.20, se calcula la potencia aparente:

$$S = P_e / FP$$

$$S = 670,5 / 0,8$$

$$S = 838,2VA$$

Luego con las ecuaciones 2.21 y 2.22, se calculan las potencias activa total ( $P_T$ ) y aparente total ( $S_T$ ) para los 60 ventiladores:

$$P_T = NV * P_e * FP$$

$$P_T = 60 * 670,5 * 0.8$$

$$P_T = 32184 W$$

$$S_T = \frac{P_t}{FP}$$

$$S_T = \frac{32184}{0,8}$$

$$S_T = 40230 VA$$

Posteriormente con la ecuación 2.23 y teniendo en cuenta que el transformador seleccionado es trifásico, se halla el valor para la intensidad de corriente eléctrica por fase, así:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi}$$

$$I = \frac{32184}{\sqrt{3} * 120 * 0,8}$$

$$I = 193,5 A$$

Luego con las ecuaciones 2.24 y 2.25 se hallan los valores para la potencia aparente trifásica y la corriente pico al momento del arranque de los ventiladores respectivamente:

$$SAF = V * I * \sqrt{3}$$

$$SAF = 120 * 193.5 * \sqrt{3}$$

$$SAF = 40218 VA$$

$$I_A = k * I$$

$$I_A = 2 * 387A$$

$$I_A = 387A$$

Conocida la corriente pico de arranque de los ventiladores, se calcula la potencia aparente requerida para la selección del transformador:

$$SAF = V * I_A * \sqrt{3}$$

$$SAF = 120 * 387 * \sqrt{3}$$

$$SAF = 80436VA$$

Del resultado obtenido, se observa que la potencia requerida en la hacienda es de 80436VA (teniendo en cuenta los picos de corriente de arranque), a partir de este valor, y la información suministrada en la literatura (Celsia, 2020) se deben seleccionar 2 transformadores trifásicos de 45 kVA conectados en paralelo, con lo que se logra una ventaja al tener una línea disponible para instalaciones eléctricas futuras en la hacienda.

La intensidad de corriente consumida por los 60 ventiladores se calcula con la ecuación 2.24 y la potencia requerida en la hacienda, así:

$$I = \frac{SAF}{\sqrt{3} * U}$$

$$I = \frac{80436}{\sqrt{3} * 127}$$

$$I = 367 A$$

Con el valor de corriente obtenido se selecciona un conductor Tríplex #2, Trenzado; Fases: #2 AAC – Neutro: #2 AAAC, que transporte la energía eléctrica del transformador al gabinete donde está ubicada la distribución eléctrica y control.

Posteriormente con las ecuaciones 2.19 y 2.26 se calculan respectivamente la corriente nominal del ventilador y el calibre del conductor eléctrico de alimentación desde el tablero hasta el ventilador monofásico.

$$I_V = \frac{670.5}{127 * 0.8} = 6.59A$$

$$I_V = \frac{670.5}{127 * 0.8} = 6.59A$$

$$C_{Q_{G1}} = 1,3 * I_V$$

$$C_{Q_{G1}} = 1,3 * 6.59$$

$$C_{Q_{G1}} = 8.59 \approx 9A$$

---

Con el valor de corriente obtenido se selecciona un calibre 12 AWG, el cual tiene una capacidad máxima de 20 A.

Luego con la ecuación 2.27 se halla el valor requerido para seleccionar la protección del tablero general:

$$Q_G = 1,25 * I_V$$

$$Q_G = 1,25 * 455.08 \text{ A}$$

$$Q_G = 568.85 \text{ A} \approx 570 \text{ A}$$

Con la ecuación 2.28 se calcula el interruptor termomagnético del contactor:

$$Q_C = 1,2 * I_V$$

$$Q_C = 1,2 * (9)$$

$$Q_C = 10.8 \text{ A} \approx 11 \text{ A}$$

Con la ecuación 2.29 se determina el valor para seleccionar el contactor:

$$K_M = 1,15 * I_V$$

$$K_M = 1,15 * (9)$$

$$K_M = 10.35 \text{ A} \approx 11 \text{ A}$$

Finalmente, con la ecuación 2.30 se calcula el relé térmico requerido para la protección de los ventiladores, así:

$$F_T = 1,10 * I_V$$

$$F_T = 1,10 * (9)$$

$$F_T = 9.9 \text{ A} \approx 10 \text{ A}$$

### **4.3.2. Materiales que componen la red convencional**

La distancia desde el último poste de la red de distribución de Celsia hasta el invernadero es de 750m, así para suplir la demanda eléctrica del invernadero se requiere una extensión de red por media tensión como se muestra en la figura 4-9. La

extensión de red se construye bajo los lineamientos del documento, proyecto tipo centros de transformación tipo poste sin neutro (Celsia, 2020).

**Figura 4-9:** Red eléctrica de media tensión del último poste de distribución.

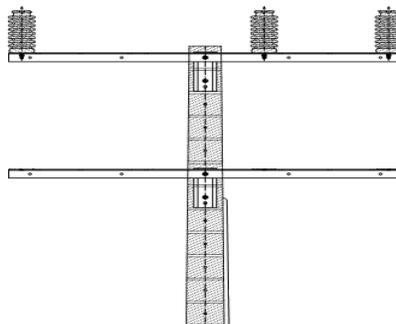


**Fuente:** Elaboración propia.

Con respecto al documento centros de transformación, se sugieren los materiales de las siguientes características.

Apoyo (poste): la norma sugiere que los postes sean de hormigón, poliéster reforzado o metálico, fabricados para soportar todos los esfuerzos mecánicos del transformador y la estructura. Para nuestro caso se requiere uno de 11m de altura, y de acuerdo a la distancia del último poste al invernadero, requerimos 7 apoyos a 100 m. de distancia en línea recta. La estructura de media tensión tipo Poste la constituyen herrajes, aisladores y elementos necesarios para la conexión de la línea al transformador, como se muestra en la figura 4-10.

**Figura 4-10:** Estructura media tensión.



**Fuente:** Documento centros de transformación tipo poste sin neutro (Celsia, 2020).

- Equipo y componente de la protección en media tensión: son dispositivos del sistema de protección de media tensión van de acuerdo a las especificaciones técnicas. El documento de memorias del centro de transformación tipo poste sin neutro, encontramos la fórmula 2.31 para calcular el fusible requerido para el transformador.

$$I_{mt} = \frac{PN}{\sqrt{3}U_{mt}}$$

$$I_{mt} = \frac{45KVA}{\sqrt{3} * 13.2 KV} = 1,96 A$$

Donde,

*I<sub>mt</sub>*: Intensidad nominal que circula para el devanado primario (A).

*PN*: Potencia nominal aparente del transformador (KVA).

*U<sub>mt</sub>*: Tensión primaria entre fases del transformador (KV).

A partir del resultado obtenido se selecciona un fusible de 2 A, de acuerdo al cálculo anterior y la tabla 4-4 del documento consultado.

**Tabla 4-4:** Fusibles de media tensión.

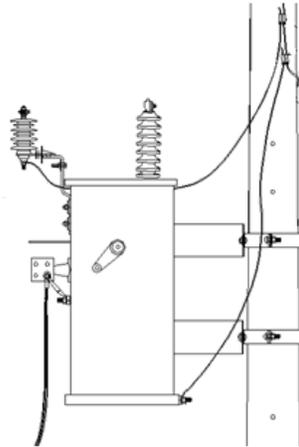
Fusible de Media Tensión				
TRAFO	Potencia (KVA)	Corriente Nominal MT	Fusible	TIPO
Monofásico 13.2 kV	5	0,37	1,0	K
	10	0,76	1,0	K
	15	1,13	1,0	K
	25	1,89	2,0	K
	37,5	2,84	3,0	K
	50	3,79	3,0	K
Trifásico 13.2 kV	75	5,68	6,0	K
	30	1,31	2,0	K
	45	1,97	3,0	K
Trifásico 34.5 kV	75	3,28	6,0	K
	112,5	4,92	8,0	K
	30	1,31	1,0	K
	45	1,97	2,0	K
	75	3,28	3,0	K
	112,5	4,92	5,0	K

**Fuente:** (Celsia, 2020).

- Transformador: se utilizarán dos transformadores convencionales de 45kVA conectados en paralelo, de acuerdo a la potencia calculada anteriormente. Por otro

lado su instalación debe realizarse de acuerdo al documento memoria centros de transformación tipo poste sin neutro como se presenta en la figura 4-11.

**Figura 4-11:** Montaje de transformador en poste.



**Fuente:** Documento memoria centros de transformación tipo poste (Celsia,2020).

De acuerdo al documento consultado, los conductores empleados en los puentes a las líneas según la potencia del transformador se muestran en la tabla 4-5.

**Tabla 4-5:** Calibres conductores eléctricos para puentes en transformadores.

Transformadores	Capacidad (kVA)	Tipo de conductor
Monofásicos	5, 10 y 15	1 x 2 AWG
	25, 37,5 y 50	1 x 2/0 AWG
	75	2 x 2/0 AWG
Trifásicos	30-45 - 75	1 x 2/0 AWG
	112,5	2 x 2/0 AWG

**Fuente:** (CELSIA, 2020).

Como Equipo de medida se empleará un medidor trifásico suministrado por el operador de red. En la tabla 4-6 detalla el presupuesto requerido para la extensión de la red.

**Tabla 4-6:** Presupuesto requerido para la electrificación del invernadero con red convencional.

MEDIA TENSION				
descripción	ume	cantidad	vr un (cop\$)	subtot (cop\$)
Cruceta angular metálica 2,4 M	UN	20	56.465	1.129.311

Abrazadera doble 5 1/2"	UN	16	20.924	334.790
Abrazadera doble 6 1/2"	UN	2	20.000	40.000
Aislador de porcelana para 13.2 KV	UN	12	15.085	181.029
Aislador composite suspensión para 13.2 KV	UN	8	16.000	128.000
Aislador de tensión para 13.2 KV	UN	2	3.700	7.400
Alambre galv entice No 12	ML	8	1.500	12.000
Arandela de presión 5/8"	UN	40	100	4.000
Cable ACSR No 2	ML	1500	1.858	2.787.000
Cable retenida acero 1/4"	ML	30	4.500	135.000
Conector bimetalico tipo cuña para No 2	UN	6	13.277	181.029
Espárrago 5/8"	UN	4	2.900	11.600
Grapa terminal de aluminio para No 2	UN	8	500	4.000
Grapa para retenida de 1/4"	UN	8	500	4.000
Grillete largo recto 5/8"	UN	6	1.000	6.000
Guardacabo 3/8"	UN	2	2.101	4.202
Poste concreto 11Mx300kg	UN	5	337.900	1.689.500
Poste concreto 11Mx500kg	UN	2	337.900	675.800
Platina para retenida 5x5x1/4"	UN	2	5.128	10.256
Retención preformada Z para No 2	UN	12	4.500	54.000
Tuerca hexagonal para 5/8"	UN	2	387	775
Varilla anclaje 5/8"x1,8M	UN	2	25.832	51.765
Zapata concreto 40x40x15"	UN	2	33.445	66.891
VALOR MATERIALES M.T.				3.018.248
VALOR CON IVA DEL 19%				573467,12
VALOR MANO DE OBRA				2500000
TOTAL MT				6.091.715
<b>SUBESTACION AEREA</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VR UNIT</b>	<b>SUBTOT</b>
Banda doble tipo pesada 6-8" para trafo completa	UN	2	20.000	40.000
Cubos metálicos galv. para cortacircuitos	UN	2	104.000	108.000
Cortacircuito para 13.8 KV 100 A	UN	6	130.252	781512
Pararrayo 12 KV 10 KA	UN	2	104.874	209.748
Varilla de cobre 5/8"x1,8M	UN	2	132.083	264.016
Trafo monofásico 45 KVA 13200/240-120 V	UN	2	2.849.900	2.849.900
Alambre de CuDD No 4	ML	16	7.876	126.016
Fusible 2A para cortacircuito	UN	6	5.000	30000
Conector para varilla de cobre 5/8"	UN	2	5.713	11.426
Tubo conduit galv. 1/2"x3M	UN	1	14.244	14.244
VALOR MATERIALES SUBESTACION AEREA				7.273.336
VALOR MATERIALES + IVA DEL 19%				1381934

47 Análisis de alternativas para el suministro eléctrico de un sistema de ventilación activa para un invernadero de la hacienda la Brasilia

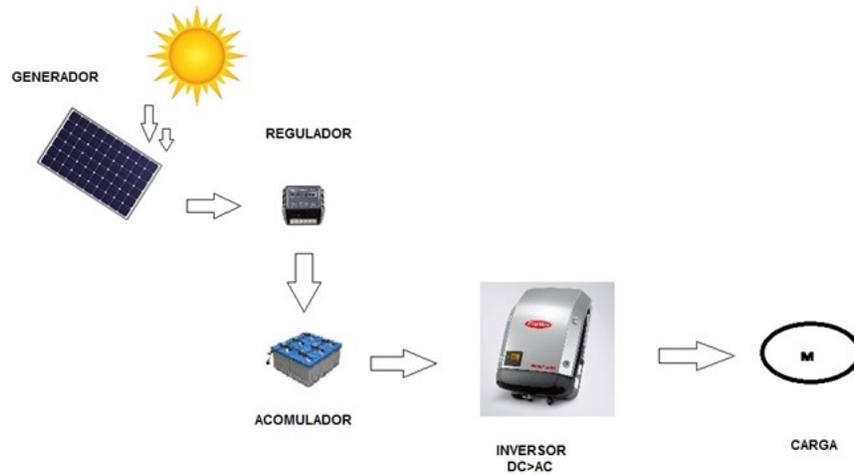
VALOR MANO DE OBRA				3000000
TOTAL SUBESTACION AEREA				11.655.270
<b>BAJA TENSION</b>				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNIT	SUBTOT
Tríplex #2, Trenzado; Fases: #2 AAC – Neutro: #2 AAAC	ML	160	12.217	1.954.720
Tubo conduit galv. 2"x6M	UN	1	14.035	14.035
Capacete galv. 2"	UN	1	14.244	14.244
Caja para contador trifásico V	UN	1	33.571	33.571
Contador trifasico	UN	1	83.866	83.866
Totalizador 3x300A	UN	1	124.094	124.094
VALOR MATERIALES B.T.				2.100.436
VALOR MATERIALES + IVA DEL 19%				399082,84
VALOR MANO DE OBRA				1500000
TOTAL BT				3.600.436
TOTAL ELECTRIFICACION INVERNADERO				21.347.421

**Fuente:** Elaboración propia.

En los anexos F y G se presentan los diagramas unifilares y plano de distribución de las redes eléctricas respectivamente.

#### 4.3.4. Dimensionamiento del sistema de energía solar fotovoltaica

Los sistemas fotovoltaicos autónomos aislados de la red, generalmente son sistemas de generación de energía eléctrica a través del aprovechamiento de la irradiación solar, magnitud expresada con la unidad de medida en  $W/m^2$ . Como se muestra en la figura 4-12; esta energía es captada por los paneles solares que producen energía eléctrica en corriente continua (DC), luego esta energía llega a un regulador encargado de controlar la carga del banco de baterías donde se realiza el almacenamiento de la misma, y por último la energía es enviada a un inversor donde se realiza la rectificación de la corriente eléctrica, convirtiéndola de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC).

**Figura 4-12:** Sistema de generación solar fotovoltaico aislado.

**Fuente:** Elaboración propia del autor.

Retomando la tabla 4-3 de consumo de energía eléctrica de los ventiladores y la potencia eléctrica calculada para el ventilador seleccionado ( $P_e = 670,5 \text{ W}$ ), se dimensiona el sistema de generación eléctrica solar fotovoltaico aislado por secciones, compuestas cada una por 3 ventiladores, con el fin de distribuir las cargas con base a la literatura guía consultada (SunFields, 2007).

En la tabla 4-7 se presentan las características eléctricas del equipo seleccionado para establecer la demanda energética de cada grupo de ventiladores.

**Tabla 4-7:** Cuadro de cargas eléctricas de 3 ventiladores.

Cant.	Carga	Potencia Mecánica (hp)/un	Potencia Eléctrica (W)/un	Tensión (V)	Corriente (A)	Tiempo de Operación (H)	Total Energía (Wh)	Total Energía * Factor de Seguridad del 1,2
3	Ventilador	1/3	670,5	127	6,6	6	12069	14482,8

**Fuente:** Elaboración propia.

Posteriormente las características individuales de los componentes seleccionados para el sistema son:

- Características del panel solar:

$$W = 350W$$

$$V_{pp} = 38,5V$$

$$V_{oc} = 47,2V$$

$$I_{sc} = 9,37A$$

$$\eta = 17,64\%$$

- Características de la batería:

$$V = 12V/200Ah$$

$$PDd = 15\%$$

$$PDe = 70\%$$

$$\eta = 95\%$$

- Características del inversor híbrido (incluye regulador):

$$Max\ V_{in} = 48VDC$$

$$V_{out} = 120VAC$$

$$W = 3000W$$

$$\eta = 93\%$$

A partir de la literatura consultada, el sistema al requerir una potencia entre 1500 y 5000 W se establece a una tensión de 48 V nominales en corriente continua (DC).

- Tensiones del sistema recomendadas por la literatura:

$$W < 1500 = 12V$$

$$1500 > W < 5000 = 24 \text{ o } 48V$$

$$W > 5000 = 120 \text{ ó } 300V$$

De acuerdo al atlas de irradiación solar de la región en la hacienda la Brasilia, se presenta una irradiación media/alta, por lo que se dimensiona el sistema con 4 días de autonomía.

- Días de autonomía recomendados por la literatura:

**Zonas con alta irradiación = 3-5 días = 4 días**

Zonas con baja irradiación = 6-7 días.

Sistemas remotos = 7-10 días.

De igual manera las características técnicas recomendadas para el dimensionamiento del banco de baterías son:

Profundidad de descarga diaria de la batería = 15-20%

Profundidad de descarga estacional de la batería (4 a 10 días) = 70%

Rendimiento de la batería = 95%

Rendimiento de los conductores = 100%

De acuerdo a la tabla 4-7, se obtiene el valor del consumo medio diario, los autores de la guía, recomiendan un rendimiento de batería del 95% y del conductor de un 100% para un buen dimensionamiento. De esta forma y teniendo en cuenta las ecuaciones especificadas en el capítulo 2 para el cálculo de sistemas fotovoltaicos, se realizan los cálculos para el dimensionamiento del sistema requerido.

Aplicando la ecuación 2.4 se calcula los consumos medios diarios:

$$L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} * \eta_{con}}$$

$$L_{md} = \frac{0 + \frac{14482,8}{0,93}}{0,95 * 1}$$

$$L_{md} = 16392,52 \text{ Wh/día}$$

Luego con la ecuación 2.5 se calcula el consumo de energía en Ah/día de la siguiente manera:

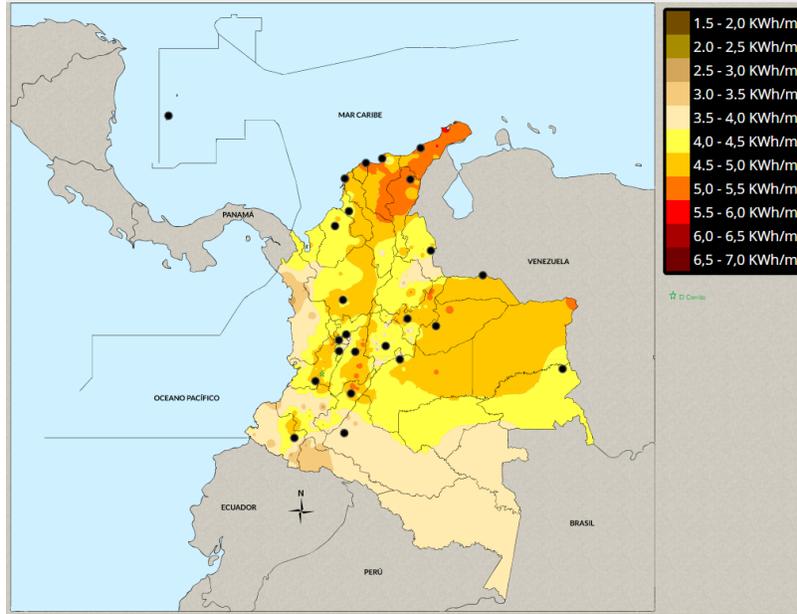
$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{bat}}$$

$$Q_{Ah} = \frac{14482,8}{48}$$

$$Q_{Ah} = 301,72 \text{ Ah/día}$$

De acuerdo a la figura 4-13 se calcula las horas solar pico (HSP) del sitio o la zona de la instalación solar fotovoltaica autónoma, para determinar las horas de máxima producción de energía.

**Figura 4-13:** Mapa geográfico de irradiación global horizontal media diaria.



**Fuente:** (IDEAM, 2020).

Así en El Cerrito se recibe una irradiación entre 4 y 5 kWh/m<sup>2</sup>, es decir, en promedio 4500 Wh/m<sup>2</sup> aproximadamente. Posteriormente las HSP se calculan con la ecuación 2.6:

$$HSP = 4500 \text{ Wh/m}^2 / 1000 \text{ Wh/m}^2 = 4,5HSP$$

Una vez conocido el valor de las HSP se calcula el número de paneles requeridos con la ecuación 2.7 de la siguiente forma:

$$N_T = \frac{L_{md}}{P_{MPP} * HSP * PR}$$

$$N_T = \frac{14482,8}{350 * 4,5 * 0,90}$$

$$N_T = 10,21 \approx 11 \text{ un.}$$

En donde la energía producida por cada panel se determina con la ecuación 2.8:

$$E_P = P_{MPP} * HSP * PR$$

$$E_P = 350 * 4,5 * 0,90$$

$$E_P = 1417,5 \text{ Wh/dia}$$

Luego de conocer el número de paneles requeridos por el sistema, con las formulas 2.9 y 2.10 se procede con el cálculo del número de paneles que deben ir conectados en serie y el número de paneles que deben ir conectados en paralelo respectivamente, así:

Número de paneles en serie:

$$N_{serie} = \frac{V_{bat}}{V_{MOD,MPP}}$$

$$N_{serie} = \frac{48}{38,5}$$

$$N_{serie} = 1,24 \approx 2$$

Número de paneles en paralelo:

$$N_{paralelo} = \frac{N_T}{N_{serie}}$$

$$N_{paralelo} = \frac{11}{2}$$

$$N_{paralelo} = 5,5 \approx 6$$

De igual forma con la ecuación 2.11 se halla la corriente generada por el número de paneles totales:

$$I_{GFV,MPP} = \frac{Q_{Ah}}{HSP}$$

$$I_{GFV,MPP} = \frac{301,72}{4,5}$$

$$I_{GFV,MPP} = 67,04 A$$

Posteriormente se efectúa el cálculo del banco de baterías, teniendo en cuenta los parámetros de la máxima profundidad de descarga (diaria y estacionaria) y los días de autonomía recomendados y seleccionados de la literatura.

Descarga estacionaria 70%

Descarga diaria 15%

Factor de corrección de temperatura = 1

Con las ecuaciones 2.12 y 2.13 se determina la capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria en  $Wh$  y  $Ah$ :

$$C_{nd}(Wh) = \frac{L_{md}}{P_{Dmax,d} \cdot F_{CT}}$$

$$C_{nd}(Wh) = \frac{14482,8}{0,15 * 1}$$

$$C_{nd}(Wh) = 96552 \text{ Wh}$$

$$C_{nd}(Ah) = \frac{C_{nd}}{V_{bat}}$$

$$C_{nd}(Ah) = \frac{96552}{48}$$

$$C_{nd}(Ah) = 2011,5 \text{ Ah}$$

Con las ecuaciones 2.14 y 2.15 se determina la capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional en  $Wh$  y  $Ah$ :

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{md} \cdot N_{dias}}{P_{Dmax,e} \cdot F_{CT}}$$

$$C_{ne}(Wh) = \frac{14482 * 4}{0,7 * 1}$$

$$C_{ne}(Wh) = 82758,85 \text{ Wh}$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}(Wh)}{V_{bat}}$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{82758,85}{48}$$

$$C_{ne}(Ah) = 1724,14 \text{ Ah}$$

Así, de los resultados obtenidos se debe tomar el resultado de mayor valor para lograr una confiabilidad más alta del sistema dimensionado.

$C_{ne} = 2011,5 \text{ Ah}$  Capacidad total requerida por el banco de baterías. Para obtener el número de baterías ( $N_B$ ) requeridas se resuelve la ecuación 4.5, así:

$$N_B = C_{ne}/Ah_B \quad (4.5)$$

$$N_B = 2011,5/200$$

$$N_B = 10,05 \text{ un}$$

Donde,

$C_{ne}$  = Capacidad total requerida por el banco de baterías (Ah).

$Ah_B$  = Capacidad nominal de la batería seleccionada (Ah).

Luego para el cálculo del inversor, que para este caso será un inversor/regulador, se deben hallar las corrientes de entrada y salida con las ecuaciones 2.16 y 2.17 respectivamente de la siguiente forma:

$$I_{entrada} = 1,25 \cdot I_{cc,MOD} \cdot N_P$$

$$I_{entrada} = 1,25 \cdot 9,37 \cdot 6$$

$$I_{entrada} = 70,27A$$

$$I_{salida} = \frac{1,25 + \frac{L_{md,AC}}{\tau_{inv}}}{V_{bat}}$$

$$I_{salida} = \frac{1,25 + \frac{2011,5}{0,93}}{48}$$

$$I_{salida} = 45,08 A$$

Posteriormente se halla la demanda de potencia total que debe entregar el inversor al momento del arranque de los ventiladores con la ecuación 2.18:

$$P_{inv} = 1,2 \cdot k \cdot P_{cargasCA+DC}$$

$$P_{inv} = 1,2 \cdot 2 \cdot 2011,5$$

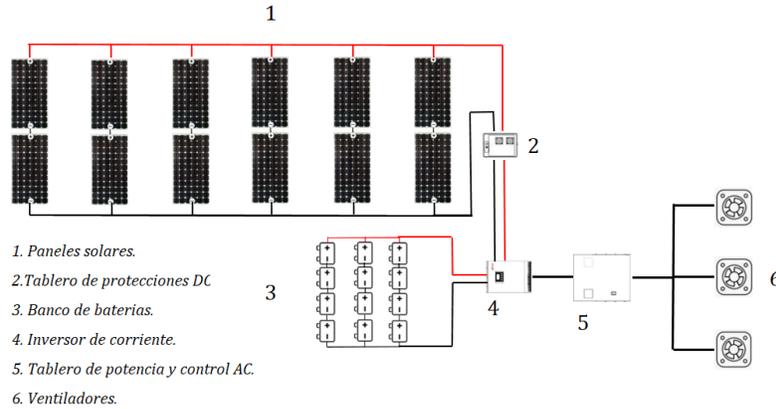
$$P_{inv} = 4827,26 W$$

Donde el factor k, es una constante que representa un consumo de corriente del 200% durante el arranque directo de los ventiladores.

Finalmente, el sistema dimensionado para proporcionar la energía eléctrica consumida por 3 ventiladores, estará compuesto de 12 paneles solares, 12 baterías, 1 tablero de

protección en DC, 1 inversor/regulador y 1 tablero de potencia y control. En la figura 4-14 se presenta el esquema de conexión de los componentes dimensionados, de los cuales se requerirán 20 de las mismas características teniendo en cuenta el total de 60 ventiladores.

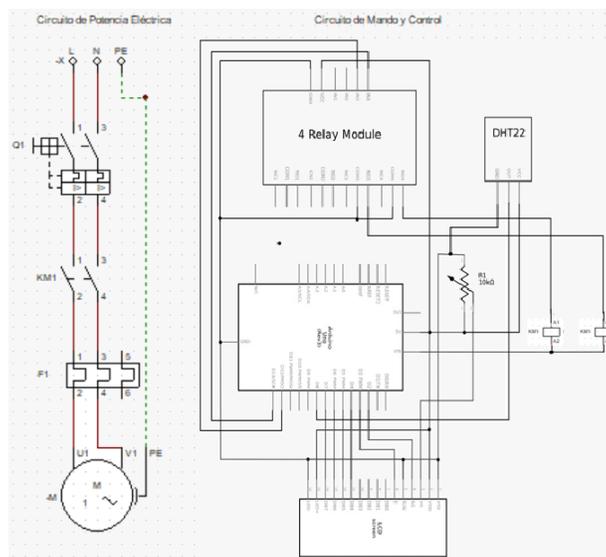
**Figura 4-14:** Esquema de conexión sistema de generación solar fotovoltaico autónomo para 3 ventiladores.



**Fuente:** Elaboración propia.

Por otro lado, se realizan los esquemas de potencia y control de los ventiladores, los cuales se presentan en la figura 4-15.

**Figura 4-15:** Esquemas de potencia y control de los 3 ventiladores.



**Fuente:** Elaboración propia.

Posteriormente, con base a los esquemas de conexión de los ventiladores, y la corriente de salida del inversor ( $I_{salida} = 45,08 A$ ) se calculan los elementos de potencia, protección y control requeridos de la siguiente forma:

Con base a la ecuación 2.26 se calcula el calibre del conductor eléctrico de alimentación del tablero de potencia y control:

$$C_{QG1} = 1,3 * I_{salida}$$

$$C_{QG1} = 1,3 * 45,09$$

$$C_{QG1} = 58,61 A \approx 60 A$$

Con el valor de corriente obtenido se selecciona un calibre 6 AWG el cual tiene una capacidad máxima de 75 A.

Luego con la misma ecuación 2.27 se calcula el calibre del conductor eléctrico de alimentación de los ventiladores:

$$C_{QG2} = 1,3 * (I_{salida}/3)$$

$$C_{QG2} = 1,3 * (15,03)$$

$$C_{QG2} = 19,53 A \approx 20A$$

Con el valor de corriente obtenido se selecciona un calibre 12 AWG el cual tiene una capacidad máxima de 20 A.

Con la ecuación 2.27 se halla el valor del interruptor termomagnético general:

$$Q_G = 1,25 * I_{salida}$$

$$Q_G = 1,25 * 45,09$$

$$Q_G = 56,36 A \approx 60A$$

Con el valor de corriente obtenido se selecciona uno de 60A.

Posteriormente con la ecuación 2.28 se determina el valor del interruptor termomagnético del circuito, es decir para cada ventilador:

$$Q_C = 1,2 * (I_{salida}/3)$$

$$Q_C = 1,2 * (15,03)$$

$$Q_C = 18,03 \text{ A} \approx 20\text{A}$$

Con el valor de corriente obtenido se selecciona uno de 20A.

Luego con la fórmula 2.29 se halla el calibre del contactor:

$$K_M = 1,15 * (I_{salida}/3)$$

$$K_M = 1,15 * (15,03)$$

$$K_M = 17,28 \text{ A} \approx 18^a$$

Con el valor de corriente obtenido se selecciona uno de 20A.

Con la ecuación 2.30 se determina el valor para el Relé térmico:

$$F_T = 1,10 * (I_{salida}/3)$$

$$F_T = 1,10 * (15,03)$$

$$F_T = 16,53 \text{ A} \approx 15 \text{ a } 23 \text{ A}$$

Con el valor de corriente obtenido se selecciona uno entre 15-23A.

Posteriormente, para la protección de los paneles solares se debe utilizar un interruptor termomagnético en DC ( $Q_{DC}$ ), calculado con la ecuación 4.6 y la intensidad de corriente de cortocircuito total del sistema de la siguiente manera:

$$Q_{DC} = I_{SC} * NT_{Paralelo} \tag{4.6}$$

$$Q_{DC} = 9,37 * 6$$

$$Q_{DC} = 56,22 \text{ A}$$

Donde,

$I_{SC}$  = es la corriente de cortocircuito del panel solar seleccionado (A).

$NT_{Paralelo}$  = número de paneles en paralelo.

Con el resultado obtenido se selecciona un interruptor termomagnético en DC de 63 A.

Finalmente se debe calcular la caída de tensión para ambos casos, teniendo en cuenta la longitud y el calibre del conductor seleccionado de la siguiente manera:

Primero se debe calcular la impedancia eficaz de los conductores:

$$Z_{EF} = R \cos \theta + X \sin \theta$$

$$Z_{EF} = 6.56 \cos 0.80 + 0.223 \sin 0.60$$

$$Z_{EF} = 6.56 * 0.99 + 0.223 * 0.010$$

$$Z_{EF} = 6,49$$

Donde,

$\theta$  = es el ángulo del factor de potencia del circuito.

$R$  = es la resistencia a corriente alterna de conductor.

$X$  = es la reactancia del conductor.

Obtenida la impedancia eficaz se calcula la caída de tensión, teniendo en cuenta la longitud del conductor y la corriente del circuito:

$$\Delta V_{FASE - NEUTRO} = Z_{EF} \cdot 2 \cdot L \cdot I$$

$$\Delta V_{FASE - NEUTRO} = 6,49 * 2 * 0.068 * 6.6$$

$$\Delta V_{FASE - NEUTRO} = 5.82 \text{ caída de tensión al ventilador más lejano.}$$

Una vez obtenida la caída de tensión se calcula la regulación de tensión o porcentaje de caída de tensión

$$\% \text{ Caída de Tensión FASE - NEUTRO} = \frac{\Delta V_{FASE - NEUTRO}}{FASE - NETRO} * 100$$

$$\% \text{ Caída de Tensión FASE - NEUTRO} = \frac{5.82}{120} * 100$$

$$\% \text{ Caída de Tensión FASE - NEUTRO} = 4.85$$

En la tabla 4-8, se relaciona el presupuesto necesario para determinar el costo del sistema de generación eléctrica solar fotovoltaico aislado.

**Tabla 4-8:** presupuesto requerido para la electrificación del invernadero con energía solar fotovoltaica.

IV SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO				
DESCRIPCIÓN	UME	Cantidad	Valor (COP\$)	Subtotal (COP\$)
INVERSOR CARGADOR MUST	UN	20	2.000.000	40.000.000
PANEL SOLAR ZNHINESOLAR 350 W; 48 Vdc	UN	240	300.000	72.000.000
BATERÍA EV 200Ah 48V LITIO CHILWEE	UN	240	980.000	235.200.000
FUSIBLES DC 10A	UN	40	3.700	148.000
SOPORTE METALICO PARA PANEL SOLAR	UN	1	2.000.000	2.000.000
CAJAS COMBINADORAS STRING	UN	20	9.000	180.000
VALOR MATERIALES SFA (COP\$)				349.528.000
VALOR MANO DE OBRA (COP\$)				5.000.000
TOTAL SFA (COP\$)				704.056.000

**Fuente:** elaboración propia.

#### 4.4. Análisis de la inversión

Para realizar un comparativo de las dos alternativas eléctricas elegidas para nuestro estudio tomamos de referencia la tarifa de Celsia empresa de energía del grupo argos operador de red de la zona, tiene una tarifa a sus clientes regulados conectados a la red de 607,3 pesos el costo del kwh, (tomado de la factura del suministro eléctrico de la hacienda) calculado con base en las regulaciones CREG 031/97 y 119/07(Fórmula Tarifaria), se parte de esta información para asignarle un valor al Kwh producido, Así el Costo de cada Kwh del operador se halla por medio de la ecuación 4-7.

$$CU = G + T + D + C + PR + R \quad (4.7)$$

El recibo del suministro de energía eléctrica de la hacienda la Brasilia nos brinda la información de cada variable de la ecuación como se muestra en la tabla 4-9.

**Tabla 4-9:** Tarifa para el mercado regulado.

<b>Costo unitario Kwh pesos</b>	
G - Generación	231,54pesos
T - Transmisión	34,33 pesos
D - Distribución	200,71cpesos
C - Comercialización	88,5 pesos
R - Restricciones	5,45 pesos
PR - Perdidas	46,77 pesos
<b>kwh</b>	<b>607,3 pesos</b>

**Fuente:** (Celsia, 2020).

En la tabla 4-10 se muestra el precio del Kwh de la hacienda la Brasilia.

**Tabla 4-10:** precio Kwh de la hacienda la Brasilia.

<b>Tarifa Aplicada Precio kWh en pesos</b>
607,3 pesos

**Fuente:** (Celsia, 2020).

La alternativa del Sistema solar Fotovoltaico Aislado, se tiene en cuenta la inversión inicial, los costos de mantenimientos requeridos y el cambio de baterías a los cinco años, estos con signo negativo se agregan a la ecuación 2.32 VPN, y se debe a que son desembolsos y el flujo de caja anual asociado a los kWh generados por el sistema, estos considerados como ingresos positivos, proyectando la viabilidad de la inversión por un periodo de 10 años y como el dinero tiene un valor en el tiempo se establece a 10% como tasa de actualización y depreciación del sistema solar, el VAN (valor presente neto) nos ayuda a conocer el valor de cada periodo. Dicho de otra forma lo que se desea es conocer el valor de la producción del SFA en cada flujo de caja pronosticados a pesos de hoy.

En la tabla 4-11 se muestra el consumo (kWh) mensual y anual del sistema de ventilación del invernadero.

**Tabla 4-11** : kWh generados por el sistema solar fotovoltaico aislado.

<b>kWh mes</b>	43.448,4
<b>kWh anual</b>	521.380,8

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 4-12 se muestra la tarifa mensual y anual proyectada del sistema de ventilación del invernadero.

**Tabla 4-12** : Precio si se pagara al operador de red.

<b>tarifa mensual</b>	26'386.213,32
<b>tarifa anual</b>	316'634.559,8

**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente para verificar cual de las 2 alternativas de suministro eléctrico es la mas viable de acuerdo a su inversion; se aplica, despeja y resuelve la formula del VPN ecuacion 2.32 analizando de la siguiente forma:

Tomando como flujo anual (la generación año del SFA) el ahorro del pago de energía al operador de red, con una inflación de 2,5% anual de incremento de pago del suministro energía eléctrica y su desembolso inicial con una tasa de actualización del 10% donde se desprecia el sistema solar, se muestra en la tabla 4-13 el valor de las variables de la ecuación.

**Tabla 4-13:** Datos de flujo de la inversión solar.

Flujo de caja Anual (precio kWh generados) (COP\$)	316'634.559,8
Inflación del kWh anual	2,5%
Desembolso inicial (COP\$)	704'056.000
Tasa de Actualización	10%
Duración de la inversión	10 AÑOS

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 4-14 se relacionan los resultados del VPN de cada año, calculado a 10 años.

**Tabla 4-14:** Resultados de la formula VAN suministro SFA.

Desembolso inicial inversión (COP\$)	-704'056.000
Año 1 de generación	316'634.559
Año 2 de generación	324'550.423
Año 3 de generación	332'664.183,5
Año 4 de generación	340'980.788,1
Año 5 de generación	114'305.307,8
Año 6 de generación	117'162.940,5
Año 7 de generación	120'092.014,1
Año 8 de generación	123'094.314,4
Año 9 de generación	126'171.672,3
Año 10 de generación	-105'874.035,9
Tasa de Actualización	10%
VALOR ACTUAL NETO	599'646.013

**Fuente:** Elaboración propia.

Como resultado tenemos un valor VAN positivo de 599'646.013 pesos, es decir que en 10 años el sistema de generación eléctrica solar fotovoltaico, generaría un ahorro de costos de energía eléctrica y el retorno de su inversión, que a valor de hoy tendríamos anualmente un VPN 599'646.013 pesos.

En la tabla 4-15 se relaciona el resultado de la ecuación VPN de la ecuación 2.32, anualmente, relacionando el resultado de cada año por un periodo de 10 años.

**Tabla 4-15:** Resultados de la formula VPN suministro eléctrico convencional.

Desembolso inicial inversión (COP\$)	- 21'347.421
Año 1 Pago de Factura eléctrica	-324'550.423
Año 2 Pago de Factura eléctrica	-332'664.183,5
Año 3 Pago de Factura eléctrica	-332'664.183,5
Año 4 Pago de Factura eléctrica	-340'980.788,1

Año 5 Pago de Factura eléctrica	-349'505.307,8
Año 6 Pago de Factura eléctrica	-352'362.940,5
Año 7 Pago de Factura eléctrica	-355'292.014,1
Año Pago de Factura eléctrica	-358'294.314,4
Año 9 Pago de Factura eléctrica	-361'371.672,3
Año 10 Pago de Factura eléctrica	-364'525.964,1
Inflación anual del Kwh	2,5 %
Tasa de Actualización	10%
VALOR ACTUAL NETO	-2.119.430.821,45

**Fuente:** Elaboración propia.

El suministro de energía eléctrica convencional tiene una inversión inicial de 21'347.421 pesos y un sostenimiento tarifario anual por un valor de -324'550.423 pesos con una inflación de crecimiento anual del 2,5 %, todo esto se asocia a el pago del suministro eléctrico a la empresa de energía, tomando esto como desembolsos frecuentes, aplicando la fórmula del VPN, por los 10 periodos y la misma tasa de actualización del 10% tenemos como resultado un VPN, negativo -2.119.430.821,45 pesos, ya que esta han generado solo desembolsos para la sostenibilidad, por lo tanto esta alternativa de suministro eléctrico no es viable ni tampoco retorna la inversión desde el punto de vista del flujo de cajas ya que este es negativo.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

- De acuerdo al análisis realizado en la sección 4 se recomienda la inversión del sistema solar fotovoltaico, ya que el estudio económico de viabilidad VAN, nos arroja un resultado positivo, teniendo así el retorno de la inversión inicial y un ahorro de energía eléctrica durante toda la vida útil ; comparándolo con la alternativa de suministro eléctrico convencional, este nos da como resultado un valor negativo por el desembolso frecuente de dinero para pagar la factura a la empresa de energía, teniendo como alternativa más viable la solar fotovoltaica.
- El sistema de generación eléctrica solar fotovoltaico aislado, se paga en 10 años aproximadamente, calculado con el VAN (valor actual neto) y de ahí en adelante lo que ahorre durante su vida útil que son 20 años (excepto el banco de baterías).
- El sistema solar se ahorra el pago de los costos que cobra la empresa de energía eléctrica por la transmisión, distribución, comercialización, pérdidas y restricciones que cobra por el suministro eléctrico.
- La alternativa de suministro eléctrico convencional como aspecto negativo relevante siempre se asociaría a gastos, por lo tanto, el suministro eléctrico convencional se debe pagar mensualmente el servicio al operador de red.
- El presente proyecto de grado podría mejorar significativamente productividad y las condiciones de los trabajadores.



  
control\_temp\_invernadero

```
//  
void setup() {  
  pinMode(RELEVENPIN, OUTPUT);  
  pinMode(RELECOMPIN, OUTPUT);  
  
  dht.begin(); //iniciamos el sensor  
  
  lcd.begin(COLS, ROWS); //iniciamos el LCD  
}  
  
/////////////////////////////////////  
//  
// MAIN  
//  
void loop() {  
  
  leer();  
  
  // revisamos que las lecturas esten correctas  
  if (isnan(t) || !isnan(h)) {  
  
    lcd.clear(); // Limpiamos la pantalla  
    lcd.print(" Falla sensor!"); // Escribimos  
  
  }else {
```

```
control_temp_invernadero  
  lcd.clear(); // Limpiamos la pantalla  
  lcd.print("Humedad: "); // Escribimos  
  lcd.print(h,1); //1 decimal  
  lcd.setCursor(0,1); // Situamos el cursor en la columna 0 fila 1  
  lcd.print("Temp: ");  
  lcd.print(t,1);  
  
  if(activo == false && t > TempHigh){  
    lcd.clear(); // Limpiamos la pantalla  
    lcd.print("Frender!"); // Escribimos  
  
    activo = true;  
    digitalWrite(RELEVENPIN, LOW); //activación inversa en el módulo  
    digitalWrite(RELECOMPIN, LOW);  
  
  }  
  
  if(activo == true && t < TempLow){  
    lcd.clear(); // Limpiamos la pantalla  
    lcd.print("Apagar!"); // Escribimos  
  
    activo = false;  
    digitalWrite(RELEVENPIN, HIGH);  
    digitalWrite(RELECOMPIN, HIGH);  
  }  
}  
  
//esperamos el valor que tenga establecido "Refresco"  
delay(Refresco);  
}
```

# Anexo B: Ficha técnica del panel solar.

ZXP6-HLD144 Series | Zshinesolar 588 HALF-CELL Light-Weight Double Glass Poly PV Module



## ELECTRICAL PROPERTIES | STC\*

Module Type	ZXP6-HLD144 -335/P	ZXP6-HLD144 -340/P	ZXP6-HLD144 -345/P	ZXP6-HLD144 -350/P	ZXP6-HLD144 -355/P	ZXP6-HLD144 -360/P
Nominal Power Watt Pmax(W)	335	340	345	350	355	360
Power Output Tolerance Pmax(%)	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3
Maximum Power Voltage Vmp(V)	37.9	38.1	38.3	38.5	38.7	38.9
Maximum Power Current Imp(A)	8.84	8.93	9.01	9.10	9.18	9.26
Open Circuit Voltage Voc(V)	46.6	46.8	47.0	47.2	47.4	47.6
Short Circuit Current Isc(A)	9.16	9.22	9.28	9.37	9.45	9.53
Module Efficiency (%)	16.89	17.14	17.39	17.64	17.89	18.15

## ELECTRICAL PROPERTIES | NMOT\*

Maximum Power Pmax(Wp)	246.7	250.7	255.7	259.5	263.0	268.7
Maximum Power Voltage Vmpp(V)	35.5	35.5	36.1	36.4	36.6	36.8
Maximum Power Current Imp(A)	6.96	6.96	7.09	7.14	7.19	7.30
Open Circuit Voltage Voc(V)	42.8	43.0	43.2	43.4	43.6	44.0
Short Circuit Current Isc(A)	7.40	7.51	7.51	7.57	7.63	7.72

## TEMPERATURE RATINGS

NMOT	45°C ±2°C
Temperature coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.3%/°C
Temperature coefficient of Isc	0.05%/°C

## WORKING CONDITIONS

Maximum system voltage	1500 V DC
Operating temperature	-40°C~+85°C
Maximum series fuse	15 A
Maximum load(snow/wind)	5400 Pa / 2400 Pa

## MECHANICAL DATA

Solar cells	Poly 156.75*78.375mm
Cells orientation	144 (6×24)
Module dimension	2000×992×30 mm(With Frame)
Weight	25.5 kg
Glass	2.0mm+2.0mm heat strengthened glass
Junction box	IP 68, 3 diodes
Cables	4 mm <sup>2</sup> , 350 mm
Connectors	MC4-compatible

## PACKAGING INFORMATION

Packing Type	40' HQ
Piece/Box	36
Piece/Container	792

## Anexo C: Ficha técnica del inversor.

<b>Modelo MUST</b>	PV18-3048 LHM
Voltaje nominal del sistema de la batería	48VDC
<b>SALIDA DE INVERSOR</b>	
Potencia nominal	3000W
Poder de la oleada	6000W
Forma de onda	Onda sinusoidal pura
Regulación de voltaje AC	(100VAC ~ 120VAC) ± 5%
Eficiencia del inversor (pico)	93%
Tiempo de transferencia	10 ms
Voltaje	120 Voltios
Rango de voltaje seleccionable	90 ~ 145VAC
Rango de frecuencia	50Hz / 60Hz detección automática
<b>BATERÍA</b>	
Voltaje normal	48 VDC
Voltaje de carga flotante	54 VDC
Protección de sobrecarga	60 VDC
<b>CARGADOR SOLAR Y CARGADOR DE CA</b>	
Voltaje máximo	145VDC
Voltaje FVP MPPT	64 ~ 130VDC
Consumo de energía en espera	2W
Potencia de entrada fotovoltaica	2880W / 3840W
Corriente máxima de carga solar	60 / 80A
Eficiencia máxima	96%
Corriente máxima de carga de CA	60A
Corriente máxima de carga	120 / 140A
<b>ESPECIFICACIONES</b>	
Dimensiones Equipo	29.7 x 46 x 12.5 cm
Dimensiones Caja	63.6 x 39.5 x 24.1 cm
Peso neto	13.3 Kilos
Peso bruto	16.4 Kilos
<b>OTRO</b>	
Humedad	5% a 95%
T° de funcionamiento	0° C -55° C
T° de almacenamiento	-15 ° C -60 ° C

# Anexo D: Ficha técnica del ventilador.

## APLICACIONES:



ALMACENES Y  
BODEGAS



NAVES  
INDUSTRIALES



INVERNADEROS



LOCALES  
DEPORTIVOS

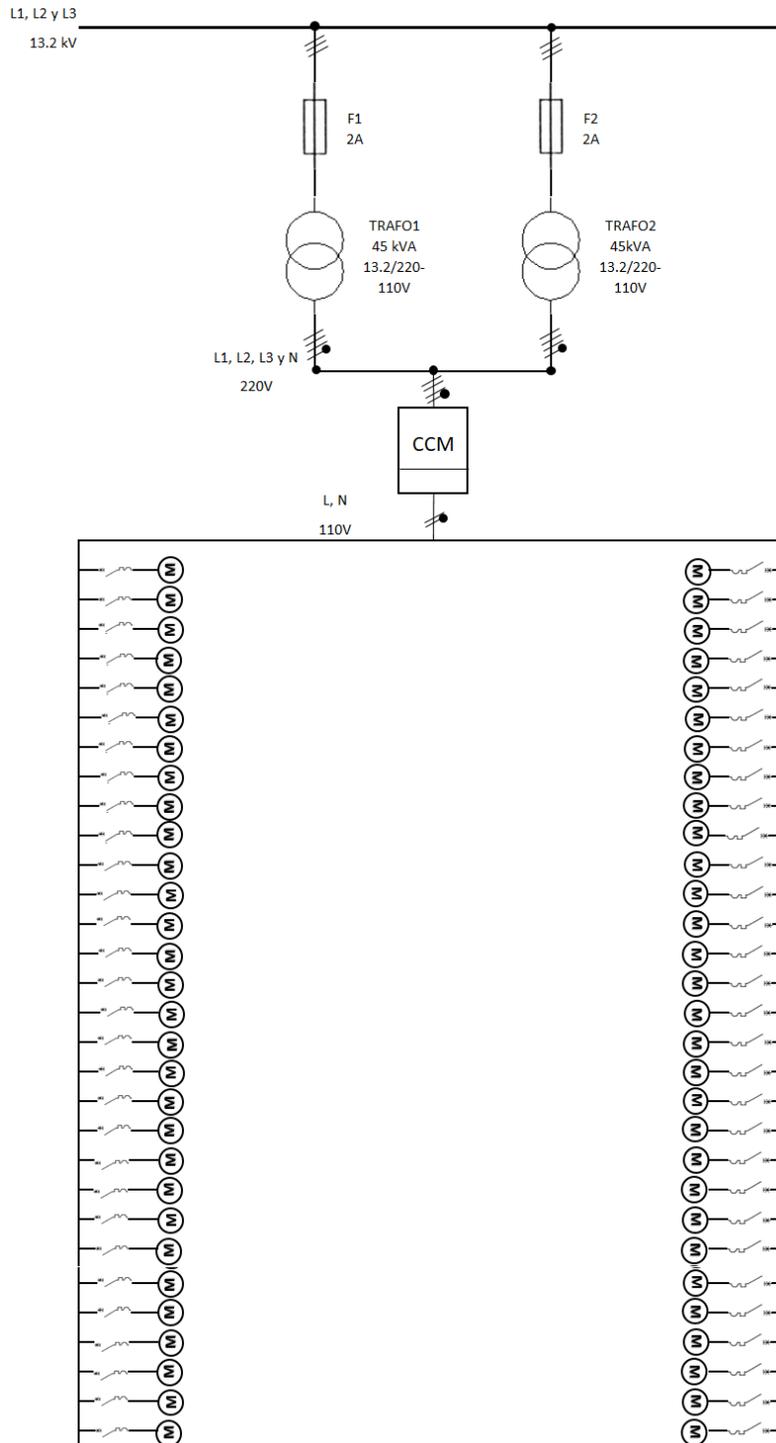
## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m <sup>3</sup> /hr / CFM	Presión sonora dB(A)*	Peso aprox. Kg
HIB - 630	515	¼	127 / 220	5,7 / 2,5	7,050 / 4,147	65	29
HIT - 630	515	¼	220 / 440	1,4 / 0,7	7,050 / 4,147	65	29
HIB - 800	570	½	127	6,6	12,110 / 7,124	70	34
HIT - 800	570	½	220 / 440	1,6 / 0,8	12,110 / 7,124	70	34
HIB - 1000	400	½	127 / 220	10,8 / 4,6	19,950 / 11,735	70	40
HIT - 1000	400	½	220 / 440	2,1 / 1,1	19,950 / 11,735	70	40
HIB - 1250	400	¾	127 / 220	13,6 / 6,1	27,095 / 15,938	74	54
HIT - 1250	400	¾	220 / 440	3,0 / 1,5	27,095 / 15,938	74	54

\*Nivel sonoro medido de acuerdo a las normas AMCA 300/05 y 301/05



# Anexo F: Diagrama unifilar de la red de suministro eléctrico de los ventiladores del invernadero.



## Anexo G: Plano de distribución eléctrica de las cargas del invernadero.



## 6. Bibliografía

- Martínez, F., & Roca, D. (2011). El control del clima de los invernaderos de plástico.
- Escobar, H., & Lee, R. (2009). Manual de producción de tomate en invernadero (2nd ed.).
- IDAE (2008) Ahorro y eficiencia energética en invernaderos. Madrid.
- IEP (2017). Sistemas de ventilación forzada (extractores y ventiladores). Retrieved 28 October 2020, from <http://www.inverelpilar.com/es/equipamiento-invernaderos/climatizacion/sistemas-de-ventilacion-forzada>
- FAO (2002). ANSI/ASAE Heating ventilating and cooling greenhouses.
- Baltazar, J. (2014). Diseño e implementación de un dispositivo para el control de la temperatura en un invernadero de tomate. México.
- ASAE (2003). ANSI/ASAE Heating ventilating and cooling greenhouses.
- Escoda, S. (2011). Manual práctico de ventilación (2nd ed.).
- Márquez, J. (2014). ¿Qué es el espectro electromagnético?. Retrieved 28 October 2020, from <https://sobrecuriosidades.com/2014/03/10/que-es-el-espectro-electromagnetico/>
- Hernández, L. (2018). Curso de energía fotovoltaica. Retrieved 28 October 2020, from
- Bessemer, P. (2020). Automatismos y robots en sistema de laso cerrado.
- Mascareña, J. (1990). La valoración de proyectos de inversión productivos (2nd ed.).
- Weatherspark. (2020).Clima promedio en el Cerrito Valle del Cauca. Retrieved 28 October 2020, from <https://es.weatherspark.com/y/21512/Clima-promedio-en-El-Cerrito-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

- American Society of Agricultural (2003). ANSI/ASAE Heating ventilating and cooling greenhouses.
- HIBT. (2020). Manual técnico de ventiladores axiales.
- Diaz, J. (2016). Placa de Arduino Uno. Retrieved 28 October 2020, from <http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/>
- Liuaosong, T. (2020). Datasheet sensor DHT22. Retrieved 28 October 2020, from
- Avelectronics. (2020). Sngle relay. Retrieved 28 October 2020, from
- Crystalfontz A. (2020). Pantalla LCD model CFAH1602A-AGB-JP. Retrieved 28 October 2020, from
- Celsia. (2020). Proyecto tipo centros de transformación tipo poste sin neutro (3rd ed.).
- SOLARTEX. (2020). Productos y equipos para energía solar fotovoltaica. Retrieved 28 October 2020, from <https://www.solartex.co/tienda/>
- IDEAM. (2020). Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia. Retrieved 28 October 2020, from <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Castro, J. (2020). Instructivos de procedimientos técnicos de la hacienda la Brasilia. El Cerrito.
- Mete, R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramienta para el análisis y evaluación de proyectos de inversión.
- FAO (2002). Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.
- SunFields (2007). Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma. <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>

- Herrador, E. (2009). Guía de usuario de arduino.
- Torrez, F. (2020). Sensores y detectores.
- IDEAM. (2020). Mapa geográfico de irradiación global horizontal media diaria.  
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Barroso, A. (2015). Control y monitorización de un invernadero a través de una aplicación móvil.
- Luna, S. (2018). Supervisión de temperatura y humedad para el cálculo de balance energético en un invernadero con tiempos de muestreo obtenidos de forma experimental.