



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL LABORATORIO  
E INVERNADERO DE GRANOS ANDINOS EN EL CAMPUS SALACHE”.**

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniería Eléctrica en Sistemas

Eléctricos de Potencia

**Autores:**

Oscar Edison Ante Umajinga

Mata Fonseca Lenin Isaias

**Tutor:**

PhD. Secundino Marrero

Latacunga – Ecuador

2019



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, Ante Umajinga Oscar Edison y Mata Fonseca Lenin Isaías, declaramos ser autores (a) del presente proyecto de investigación: “**SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL LABORATORIO E INVERNADERO DE GRANOS ANDINOS EN EL CAMPUS SALACHE**”, siendo el PhD. Secundino Marrero Ramírez tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

**Ante Umajinga Oscar Edison**  
**CC: 050305766-3**

**Mata Fonseca Lenin Isaías**  
**CC: 050388708-5**



## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL LABORATORIO E INVERNADERO DE GRANOS ANDINOS EN EL CAMPUS SALACHE”**, de los señores (Ante Umajinga Oscar Edison y Mata Fonseca Lenin Isaías), de la carrera (de Ingeniería Eléctrica), considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio, 2019

El Tutor



---

PhD. Secundino Marrero Ramirez  
175710790-7



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas por cuanto, el o los postulantes: Ante Umajinga Oscar Edison y Mata Fonseca Lenin Isaías con el título de Proyecto de titulación: **SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL LABORATORIO E INVERNADERO DE GRANOS ANDINOS EN EL CAMPUS SALACHE** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 22 de Julio del 2019

Para constancia firman:



---

Lector 1 (Presidente)

Msc. Jimmy Toaza Iza

CC: 171762106-2



---

Lector 2

Msc. Rommel Suárez Vinueza CC:

180416535-3



---

Lector 3

Msc. Marcos León Segovia

CC: 050230540-2

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme vida, salud y más que todo la fortaleza necesaria para cumplir y culminar con este objetivo tan anhelado que es una etapa fundamental de mi vida. A mis padres, hermanos y toda mi familia por brindarme su apoyo incondicional tanto emocional y económicamente.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas a la cátedra del conocimiento y por ende obtener mi título profesional.

Un agradecimiento extensivo y especial para el PhD. Secundino Marrero Ramírez que con su vasta experiencia y conocimiento fue un guía fundamental de mucha importancia para la culminación de este tema de Propuesta Tecnológica.

A mis docentes que durante el transcurso de mi carrera han inculcado valiosos conocimientos que a lo largo de mi vida profesional serán de gran utilidad que servirán como guía para desempeñarme en el campo laboral.

**Oscar Ante**

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro de manera especial a Dios.

A mi padre Olmedo Ante que con sus

consejos sabios y objetivos supo guiarme para no decaer en la culminación de objetivo trazado.

A mi madre María Olga Umajinga por su inmensa paciencia, dedicación, comprensión y apoyo fundamental en los momentos más difíciles en cual supo darme las palabras necesarias para no rendirme en etapa de mi vida.

A mis hermanos que han estado siempre pendientes de mí, dándome apoyo y ánimo todos los días, así demostrando un cariño infinito hacia mí.

**Oscar Ante**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por llenarme de sus bendiciones y permitir alcanzar un sueño anhelado.

A mi hermana Sonia que a pesar de las múltiples adversidades presentadas en el trayecto de esta etapa siempre ha estado apoyándome en todo momento.

A mi hermano Nicolay por haberme enseñado el valor del trabajo duro y la honestidad.

A mi hermana Marcela por todo el cariño brindado y por ser un apoyo incondicional durante esta travesía.

A mi cuñado Hernan Acosta que con consejos me guía por el camino del bien y motiva a seguir adelante.

A toda mi familia en general que de alguna manera contribuyeron al logro de esta meta alcanzada en mi vida.

**Lenin Mata**

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi querida madre Elvia Fonseca, cuyo deseo fue verme convertido en un profesional.

A mis hermanos Nicolay, Marcela y Sonia quienes cada día me llenan de motivación y fortaleza para seguir adelante.

A mi cuñado Hernan Acosta por su sabiduría, enseñanzas y consejos.

**Lenin Mata**

## INDICE DE CONTENIDO

PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
DEDICATORIA.....	viii
INDICE DE CONTENIDO .....	ix
INDICE DE FIGURAS .....	xiii
INDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRAC.....	xvii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	3
2.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	3
2.2 TIPO DE ALCANCE .....	3
2.3 ÁREA DEL CONOCIMIENTO:.....	3
2.4 SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	3
2.5 OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN .....	4
2.5.1 Objeto de estudio.....	4
2.5.2 Campo de acción .....	4
2.6 Situación problemica y problema.....	4
2.6.1 Situación problemica .....	4
2.6.2 Problema.....	5
2.7 HIPÓTESIS.....	5
2.8 OBJETIVOS .....	5
2.8.1 Objetivo General .....	5
2.8.2 Objetivos Específicos .....	5

2.9 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS.....	6
3. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1 El Sol .....	7
3.2 La radiación Solar .....	7
3.3 Tipos de Radiación Solar.....	8
3.4 La energía Solar Fotovoltaica .....	10
3.5 La Energia Solar Fotovoltaica en Ecuador .....	11
3.6 Sistemas de Generación Fotovoltaica .....	11
3.6.1 Descripción de un sistema de generación Fotovoltaica aislada .....	11
3.6.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la red.....	12
3.7 Elementos del Sistema Fotovoltaicos.....	13
3.7.1 Paneles Solares .....	13
3.7.2 La celda fotovoltaica.....	13
3.7.2.1 Estructura de una celda fotovoltaica .....	14
3.7.2.2 Funcionamiento de la celda Fotovoltaica .....	14
3.7.3 Tipos de células Fotovoltaicas.....	14
3.7.3.1 Estructura de silicio mono-cristalina.....	15
3.7.3.2 Estructura de silicio poli-cristalino.....	15
3.7.3.3 Estructura de silicio amorfa .....	15
3.7.3.4 Estructura de un Módulo Fotovoltaico .....	16
3.8 Partes del Módulo Fotovoltaico.....	16
3.8.1 Un módulo fotovoltaico consta de las siguientes partes: .....	16
3.8.2 Efecto de sombras y condiciones nocturnas.....	17
3.9 Inclinación de los módulos Fotovoltaicos .....	18
3.10 Parámetros eléctricos de las celdas fotovoltaicas .....	18
3.10.1 Curva Corriente-Voltaje de la Celda Solar.....	18
3.10.2 Eficiencia de los Módulos Fotovoltaicos.....	19
3.11 Sistema de Acumulación o Banco de Baterías.....	20
3.12 Las Baterías.....	20

3.12.1	Parámetros eléctricos de las baterías .....	21
3.10.3	Tipos de Baterías para aplicaciones Fotovoltaicas.....	22
3.12.2	Funcionamiento de las Baterías de Plomo-Ácido.....	22
3.12.3	Proceso de Descarga .....	23
3.12.4	Proceso de Carga .....	23
3.12.5	Ciclo de Vida de las Baterías de Plomo-Ácido.....	24
3.12.6	Capacidad de las Baterías.....	24
3.12.7	Facilidad de Instalación y Operación.....	26
3.12.8	Banco de Baterías.....	26
3.12.9	Conexión en paralelo .....	26
3.12.10	Conexión en Serie .....	27
3.12.11	Conexión serie-paralelo.....	27
3.13	Subsistema de Regulación.....	28
3.13.1	Control en Paralelo.....	29
3.13.2	Control Serie .....	29
3.14	El Inversor o Convertidor de CC/CA.....	30
3.15	Cables de Conexión .....	31
3.15.1	Características de los Conductores.....	31
3.15.2	Comportamiento de los Conductores ante diversas condiciones.....	32
3.16	Componentes Adicionales.....	34
3.16.1	Cajetines de Conexión .....	34
3.17	Sentron Pac .....	34
3.18	Transferencia de Energía de la Red vs Sistema Fotovoltaico .....	35
3.18.1	Equipos para la Transferencia de Energía. ....	35
3.18.1.1	Contactores .....	35
3.19	Software RETScreen (Programa para Estudios y Análisis de Sistemas Energéticos) .....	36
3.19.1	Uso en un sistema FV del programa RETScreen .....	36
4.	METODOLOGIA .....	37
5.	DISEÑO Y ANALISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	37
5.1.1	Descripción del sistema eléctrico. ....	38

5.1.2	Determinacion de la carga instalada. ....	38
5.1.3	Determinacion de la energia del sistema. ....	38
5.1.4	Dimensionamiento del banco de baterías .....	39
5.1.4.1	Determinación de paneles fotovoltaicos e inclinación .....	40
5.1.4.2	Irradiación Horizontal Diaria para Salache .....	40
5.1.4.3	Irradiación Horizontal Extraterrestre .....	40
5.1.4.4	Coefficiente de correlación.....	41
5.1.4.5	El valor de la radiación solar en Salache .....	42
5.1.4.6	Inclinación de paneles.....	44
5.1.5	Especificaciones del Regulador de carga: .....	44
5.1.6	Especificaciones del inversor:.....	45
5.1.7	Dimensionamiento De Conductores.....	45
5.1.7.1	Cálculo del Calibre del Conductor en Función de la Caída de Voltaje .....	46
5.1.7.2	Cálculo de la Sección Transversal del Conductor .....	46
5.1.7.3	Cálculo de Caídas de Tensión y Pérdidas .....	48
5.1.8	Dimensionamiento de las Protecciones .....	49
5.1.8.1	Cálculo del fusible de protección: .....	49
5.2	Conexión e implementación de los Equipos .....	50
5.2.1	Ubicación de los Paneles Solares .....	50
5.2.2	Arreglo Fotovoltaico .....	50
5.2.3	Conexión del Regulador de Carga y el Banco de Paneles Solares .....	51
5.2.4	Conexión del Banco de Baterías.....	52
5.2.5	Conexión entre Banco de Baterías y el Regulador de Carga.....	52
5.2.6	Conexión entre el Banco de Baterías y el Inversor.....	53
5.2.7	Conexión de las Salidas del Inversor con el Tablero de Transferencia de Energía .....	54
5.3	Sistema de puesta a Tierra.....	55
5.4	<b>FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACION FOTOVOLTAICO</b> <b>(HIBRIDO)</b> .....	56
5.5	Planos de circuito de fuerza y de control del sistema.....	57

5.6 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR CON LAS CARGAS.....	58
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	59
6.1 Impactos .....	59
6.2 Análisis de la inversión y recuperación .....	62
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
7.1 Conclusiones.....	64
7.2 Recomendaciones.....	64
8. BIBLIOGRAFIA.....	66

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Radiación Solar (Espectro Solar) .....	7
Fig. 2 Tipos de Radiación Solar. ....	9
Fig. 3 Dirección de la Radiación. ....	10
Fig. 4 Sistema Fotovoltaico Aislado de la Red SFVA V .....	12
Fig. 5 Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red.....	12
Fig. 6 Diagrama Esquemático de una celda solar de Silicio .....	14
Fig. 7 Estructura Mecánica de un Panel Fotovoltaico. ....	17
Fig. 8 Diodo de bloqueo instalado para evitar el retorno de flujo .....	18
Fig. 9 Curva Corriente- Voltaje de la celda solar.....	19
Fig. 10 Duración en ciclos de Carga-descarga en función de la descarga.....	24
Fig. 11 Conexión de Baterías en Paralelo.....	27
Fig. 12 Conexión de Baterías en Serie.. ....	27
Fig. 13 Conexión Serie-Paralelo de un Banco de Baterías.....	28
Fig. 14 Esquema básico de Operación del Regulador de carga en Serie y Paralelo.. ....	29
Fig. 15 Características de la Tensión del Inversor.....	30
Fig. 16 Sentron Pac 3200.....	34
Fig. 17 Características del Contactor.....	35
Fig. 18 Regulador de carga utilizado en el sistema fotovoltaico.....	44

Fig. 19 Ubicación de los Paneles Solares .....	50
Fig. 20 Conexión del Regulador de Carga y el Banco de Paneles Solares.....	51
Fig. 21 Conexión del Banco de Baterías .....	52
Fig. 22 Conexión entre Banco de Baterías y el Regulador de Carga .....	53
Fig. 23 Conexión entre el Banco de Baterías y el Inversor .....	54
Fig. 24 Conexión de las Salidas del Inversor con el Tablero de Transferencia de Energía .....	55
Fig. 25 Sistema de puesta a Tierra.....	55
Fig. 26 Diagrama general de todo el sistema de generación fotovoltaico. ....	56
Fig. 27 Circuito de Fuerza del Sistema Fotovoltaico. ....	57
Fig. 28 Circuito de Control del Sistema Fotovoltaico .....	58
Fig. 29 Curva de comportamiento del Sistema Fotovoltaico con diferentes cargas .....	59

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Actividdes y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados .....	6
Tabla 2 Metodología de la Propuesta Tecnológica del Proyecto .....	37
Tabla 3. Potencia instalada .....	38
Tabla 4 Cálculo de la energía .....	39
Tabla 5 Características de la batería utilizada. ....	40
Tabla 6 valores obtenidos en el programa Retscreen Expert.....	40
Tabla 7 Irradiación horizontal extraterrestre (Bodm).....	41
Tabla 8 Coeficiente de correlación.....	42
Tabla 9 Valor de la radiación solar en Salache .....	42
Tabla 10 Características de los paneles Mono Solar .....	43
Tabla 11 Especificaciones Técnicas del inversor .....	45
Tabla 12 Porcentajes de Caida Voltaje en Conductores.....	46
Tabla 13 Resultados de los tramos de cada línea del sistema fotovoltaico .....	47
Tabla 14 Características de los conductores.....	47
Tabla 15 Valores de Corriente consumido de las Cargas .....	58
Tabla 16 Egresos del Proyecto. ....	61
Tabla 17 Flujo de caja del Proyecto .....	63

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1) Horas solar pico .....	8
Ecuación (2) Corriente pico.....	8
Ecuación (3) Número de paneles en paralelo .....	20
Ecuación (4) Eficiencia de los paneles solares.....	20
Ecuación (5) Capacidad de la batería. ....	25
Ecuación (6) Capacidad del sistema de acumulación con días de autonomía.....	25
Ecuación (7) Capacidad del sistema de acumulación con factor de descarga de la batería .....	25
Ecuación (8) Baterías en paralelo.....	25
Ecuación (9) Corriente pico del regulador de carga .....	29
Ecuación (10) Corriente pico del inversor.....	31
Ecuación (11) Variación de voltaje .....	32
Ecuación (12) Corriente máxima de la carga .....	32
Ecuación (13) Variación de voltaje en voltios.....	32
Ecuación (14) Resistencia del conductor.....	33
Ecuación (15) Sección del conductor .....	33
Ecuación (16) Pérdidas de potencia.....	33
Ecuación (17) Pérdidas de energía .....	33

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA Y APLICADAS**

**TEMA: “SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL LABORATORIO E INVERNADERO DE GRANOS ANDINOS EN EL CAMPUS SALACHE”.**

**Autores:** Ante Umajinga Oscar Edison Mata Fonseca Lenin Isaias

### **RESUMEN**

La Universidad Técnica de Cotopaxi extensión Salache cuenta con un invernadero de producción periódica, que recibe energía eléctrica de la red pública para alimentar un sistema automático de control de riego, temperatura y humedad, los mismos que funcionan las 24 horas, de esta manera permiten mejorar los procesos de producción, por lo que requieren un suministro continuo de energía, pero debido a que las líneas eléctricas son vulnerables a diversos eventos que pueden provocar el corte en el abastecimiento de potencia, es indispensable contar con un sistema de generación autónomo que sea capaz de cubrir la demanda del sistema de automatización, lo cual se logrará a través de la implementación de paneles fotovoltaicos y acumuladores de energía. Por otra parte, al estar el invernadero activo cada cierto tiempo, la energía generada por el sistema fotovoltaico, solo se aprovechará cuando éste se encuentre produciendo, lo que puede ocasionar daños en el acumulador de la fuente de alimentación autónoma debido a su poco uso, de esta manera resulta necesario utilizar dicha potencia generada en otro circuito eléctrico, por lo tanto, parte de esta energía se utilizará para alimentar ciertos equipos y aparatos que se encuentran en el laboratorio de granos andinos que está ubicado junto al invernadero, en el mismo que se almacenan productos que requieren condiciones óptimas de temperatura para su conservación o a su vez se desarrollan actividades que requieren el suministro continuo de potencia para su buen desempeño.

Palabras claves: sistema fotovoltaico, acumulador, energía, automatización.

## **FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**

**TITLE: "PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEM FOR THE LABORATORY AND GREENHOUSE OF ANDEAN GRAIN IN THE SALACHE CAMPUS ".**

**Authors:** Ante Umajinga Oscar Edison Mata Fonseca Lenin Isaías

### **ABSTRACT**

The Technical University of Cotopaxi Campus Salache has a greenhouse of periodic production, which receives electric power from the public network to feed an automatic irrigation control system, temperature and humidity, which work 24 hours, thus improving production processes, so they require a continuous supply of energy, but because power lines are vulnerable to various events that can cause the power supply to be cut off, it is essential to have an autonomous generation system that is capable of to meet the demand of the automation system, which will be achieved through the implementation of photovoltaic panels and energy storage. On the other hand, since the greenhouse is active from time to time, the energy generated by the photovoltaic system will only be used when it is producing, which can cause damage to the accumulator of the autonomous power source due to its little use, in this way it is necessary to use said power generated in another electrical circuit, therefore, part of this energy will be used to feed certain equipment and appliances that are found in the Andean grain laboratory located next to the greenhouse, in the same products are stored that require optimum temperature conditions for their conservation or at the same time activities are developed that require the continuous supply of power for their good performance.

**Keywords:** photovoltaic system, accumulator, energy, automation.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

## CENTRO DE IDIOMAS

### AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de Propuesta Tecnológica al Idioma Inglés presentado por los estudiantes de Décimo ciclo de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la Facultad Ciencia de las Ingeniería y Aplicadas **OSCAR EDISON ANTE UMAJINGA** y **MATA FONSECA LENIN ISAÍAS** cuyo título versa “**SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL LABORATORIO E INVERNADERO DE GRANOS ANDINOS EN EL CAMPUS SALACHE**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga Julio del 2019

Atentamente,

  
Lic. Andrade Moran José Ignacio  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS  
C.C. 050310104-0



## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del proyecto:**

“SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL LABORATORIO E INVERNADERO DE GRANOS ANDINOS DEL CAMPUS SALACHE”.

### **Fecha de inicio:**

Marzo 2019

### **Fecha de finalización:**

Agosto 2019

### **Lugar de ejecución:**

Cotopaxi – Latacunga – Salache – Universidad Técnica de Cotopaxi

### **Unidad Académica que auspicia:**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería Eléctrica

### **Equipo de Trabajo:**

### **Tutor de Titulación**

**Nombres y Apellidos:** PhD. Secundino Marrero

**Domicilio:** Latacunga

**Cédula de ciudadanía:** 175710790-7

**Estado civil:** Casado

**Número telefónico:** 0987647713

**E-mail:** secundino.marrero7@utc.edu.ec

### **Coordinador del Proyecto**

**Nombres y Apellidos:** Oscar Edison Ante Umajinga

**Domicilio:** Pujilí-San Sebastián

**Fecha de nacimiento:** 19/02/1984

**Cédula de ciudadanía:** 0503057663

**Estado civil:** Soltero

**Número telefónico:** 0987416701

**E-mail:** edison.ante02@gmai.com

**Coordinador del Proyecto**

**Nombres y Apellidos:** Lenin Isaías Mata Fonseca

**Domicilio:** Salcedo - Yambo

**Fecha de nacimiento:** 14/12/1993

**Cédula de ciudadanía:** 050388708-5

**Estado civil:** Soltero

**Número telefónico:** 099 839 6910

**E-mail:** lenin\_matita@hotmail.com

**Área de Conocimiento:**

Energías Alternativas, Distribución.

**Línea de investigación:**

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Conservación y uso Racional de la Energía.

## **2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **2.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

“SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL LABORATORIO E INVERNADERO DE GRANOS ANDINOS EN EL CAMPUS SALACHE”

### **2.2 TIPO DE ALCANCE**

**Desarrollo:**

### **2.3 ÁREA DEL CONOCIMIENTO:**

Ingeniería, industria y construcción

### **2.4 SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.**

La Universidad Técnica de Cotopaxi extensión Salache, cuenta con un laboratorio e invernadero de granos andinos cuya producción es periódica. Las instalaciones eléctricas del invernadero serán alimentadas a través del sistema fotovoltaico implementado, pero siendo este invernadero de baja producción, el sistema de generación pasará inactivo por ciertas temporadas y la energía producida no se aprovechará todo el tiempo, pudiendo ocasionar que varios componentes de la fuente de alimentación del sistema puedan averiarse debido a la falta de uso.

Por otra parte, en el laboratorio se realizan actividades que requieren un suministro continuo de energía eléctrica para su normal desempeño, además se conservan productos que requieren condiciones óptimas de temperatura; pero al estar condicionado al suministro de potencia de la red pública dicho laboratorio puede verse afectado debido a los cortes repentinos de energía.

Para evitar inconvenientes relacionados con el corte imprevisto de energía y con los posibles daños en los equipos fotovoltaicos debido a la inactividad periódica del invernadero, es necesario realizar estudios de los niveles de radiación local para determinar el nivel de potencia que se puede obtener del sistema que alimentará al invernadero de semillas y repartir los excedentes de energía a las cargas prioritarias del laboratorio, de esta manera aprovechar al máximo el sistema fotovoltaico.

## **2.5 OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.5.1 Objeto de estudio**

Implementar un Sistema de Generación Fotovoltaico para el Laboratorio e Invernadero de Granos Andinos del Campus Salache para satisfacer de energía alternativa a cargas parciales existentes.

### **2.5.2 Campo de acción**

**Practico:** El sistema de Generación Fotovoltaica permitirá suplir cargas parciales del Laboratorio e Invernadero aplicando transferencia de energía solar y energía de la Red.

## **2.6 Situación problemica y problema**

### **2.6.1 Situación problemica**

La energía proveniente de la red eléctrica pública, se encuentra expuesta a toda clase de eventos que pueden generar fallas en el sistema y producir cortes inesperados de energía, los mismos que pueden tardar en solucionar, el retraso en la reconexión del suministro de energía eléctrica altera el desarrollo de actividades que se tenían previstas realizar a una hora y fecha determinada o produce la pérdida de productos que requieren un ambiente y temperatura adecuados para su conservación.

Lo anteriormente planteado se ha vuelto un problema para el invernadero y el laboratorio de granos Andinos de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión Salache, ya que al no contar con un generador que les suministre con energía de respaldo cuando se suspende el servicio eléctrico de la red pública, sus actividades se ven interrumpidas por la falta de electricidad o provoca que ciertos productos se dañen debido a la falta de condiciones óptimas.

Por otro lado, de acuerdo a mediciones de incidencia solar realizadas en el Ecuador, nuestro país cuenta con una gran disponibilidad de este recurso, pero específicamente en Salache, en donde se encuentra el invernadero y el laboratorio de granos Andinos, no existen estudios de niveles de radiación que permitan determinar los meses y los días con mayor disponibilidad del sol, y además al encontrarse dichas instalaciones en un valle sus horas con éste recurso pueden verse reducidas, lo que puede llegar afectar el suministro energético que se prevé que el sistema fotovoltaico pueda entregar o a su vez la potencia almacenado en la batería no logre satisfacer la demanda cuando se

requiera, por lo que es necesario realizar mediciones de los niveles de exposición solar del lugar para determinar la cantidad de voltaje que se puede obtener con la radiación existente para alimentar de manera eficiente el invernadero y de esta manera considerar las cargas de mayor prioridad del laboratorio que pueden ser alimentadas con los excedentes de energía.

## **2.6.2 Problema**

La necesidad de contar con un sistema de generación autónomo de energía eléctrica que garantice el suministro continuo de potencia al invernadero de plantas y determinadas cargas del invernadero de granos andinos.

## **2.7 HIPÓTESIS**

Con la implementación de un sistema fotovoltaico se pretende abastecer de energía eléctrica al invernadero y laboratorio de granos andinos del campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

## **2.8 OBJETIVOS**

### **2.8.1 Objetivo General**

- Desarrollar un sistema de generación fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica de cargas parciales del invernadero y del laboratorio de granos andinos.

### **2.8.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar información relacionada con los parámetros de sistemas fotovoltaicos para la determinación de parámetros constitutivos importantes.
- Diseñar el sistema fotovoltaico que alimente las cargas del invernadero y del laboratorio del campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi acorde a sus necesidades energéticas.
- Implementar el sistema fotovoltaico en el laboratorio e invernadero de granos andinos para la evaluación de su funcionamiento.

## 2.9 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

**Tabla 1 .** Actividdes y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados

<b>Objetivo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Resultado de la actividad</b>	<b>Instrumento</b>
Recopilar información relacionada con los parámetros de sistemas fotovoltaicos para la determinación de parámetros constitutivos importantes.	-Investigación bibliográfica. -Obtención de mediciones de niveles radiación.	-Datos reales de niveles de radiación del Campus Salache.	Datos de la Nasa Programa RedCreen de la NASA.
Diseñar el sistema fotovoltaico que alimente las cargas del invernadero y del laboratorio del campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi acorde a sus necesidades energéticas.	- Levantamiento de datos de las cargas del invernadero y Laboratorio. -Cálculos de paneles solares, baterías, regulador carga e inversor necesarios para la implementación del sistema fotovoltaico. -Análisis de Resultados del diseño del sistema fotovoltaico.	-Valor de la demanda de energía eléctrica. -Número de paneles y baterías necesarios. -Dato de regulador de carga e inversor a utilizar.	-Placas de datos de los equipos considerados del invernadero y laboratorio. -Placa de datos de los equipos que conforman el sistema fotovoltaico.
Implementar el sistema fotovoltaico en el laboratorio e invernadero de granos andinos para el análisis de su comportamiento.	-Pruebas de Funcionamiento con las diferentes cagas. -Verificación de anomalías durante el funcionamiento de los diferentes equipos que conforman el sistema fotovoltaico.	-Detección de posibles anomalías de fábrica de los equipos que conforman el sistema de generación. -Registro de eventos negativos que interfieren en la generación.	-Equipos de Medición: Amperímetro, multímetro.  -Contador de energía.

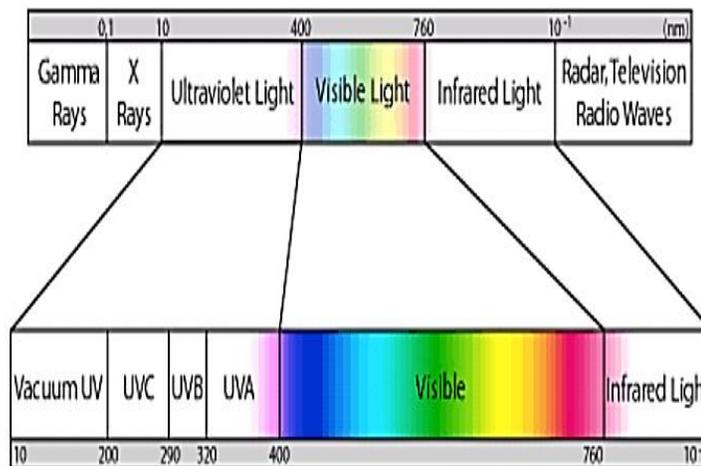
### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 El Sol

La energía proveniente del Sol resulta de reacciones nucleares de fisión que se llevan a cabo en su núcleo, para mantener una temperatura superficial de 5.762 °K, la misma que produce la pérdida de su masa y viaja a través del sistema interplanetario en todas las direcciones en forma de ondas electromagnéticas. Su flujo radiante tiene un valor de  $3.8 \times 10^{26}$  W que equivale a 62.5 MW por cada metro cuadrado de superficie solar. La energía que llega a la tierra durante un año equivale a 20 veces la energía de todas las reservas de combustibles fósiles del planeta y es 10 mil veces mayor que la energía generada para el consumo actual de todo el mundo. [1].

#### 3.2 La radiación Solar

La radiación emitida por el sol se manifiesta en una amplia distribución espectral, las cuales presentan distintas longitudes de onda que van desde 0.2 a 2.6 mm. De esta manera el 43% corresponde a la luz visible, el 49% es infrarrojo, el 7% es ultravioleta y el 1% es microondas, rayos x y ondas de radio.



**Fig. 1** Radiación Solar (Espectro Solar) [1]

La unidad en la que se mide la radiación solar es la irradiancia o irradiación, y viene dada en  $[W/m^2]$  [vatios/metros al cuadrado]. [1].

Los niveles de radiación que existen en el planeta varían dependiendo el lugar, de esta manera se pueden obtener valores de radiación altos, en regiones despejadas de nubes como los desiertos,

donde se pueden obtener valores **de 275** [W/m<sup>2</sup>], mientras que en lugares que pasan casi todo el tiempo nublados como el ártico o con demasiadas precipitaciones fluviales al año se pueden obtener valores de radiación mínimas, que pueden llegar alcanzar valores de **75** [W/m<sup>2</sup>], de esta manera la radiación media global tiene un valor aproximado **de 170** [W/m<sup>2</sup>]. [2].

$$HSE = \frac{I_{pd}}{Est.sol} \quad (1)$$

Dónde:

$I_{pd}$  = Irradiancia promedio al día en Salache.

Est.sol = Condición estándar solar

También es posible determinar la corriente pico del sistema fotovoltaico, de esta manera se tiene que:

$$I_{pico} = \frac{C}{HSE * Efic. Bat} \quad (2)$$

Dónde:

C = Capacidad de las baterías.

HSE = Horas Sol Equivalente.

Efic.Bat = Eficiencia de las baterías.

### 3.3 Tipos de Radiación Solar

**Radiación Solar Directa:** Es aquella que ingresa directamente en la superficie de la tierra sin cambiar de dirección debido a fenómenos como la reflexión o dispersión.

**Radiación Solar Difusa:** Es aquella que se ha difundido al atravesar la atmosfera debido a choques con moléculas de agua, polvo en suspensión, partículas contaminantes, etc.

**Radiación solar Reflejada:** Es procedente de la superficie terrestre, debido a la radiación que incide sobre las montañas, edificios, lagos, ríos, etc. Su valor depende del coeficiente de reflexión existente sobre una superficie. [2].

**Radiación global total:** Resulta de la suma de las radiaciones directa y difusa sobre una superficie horizontal. Es el parámetro más importante ya que permite conocer el recurso solar existente en una determinada región.



**Fig. 2** Tipos de Radiación Solar [2].

La dirección que toma la radiación solar respecto a un punto de la superficie terrestre se puede determinar mediante diferentes ángulos. Siguiendo la notación indicada por Duffi y Beckman, dichos ángulos son:

**Latitud del lugar [ $\phi$ ]:** Es la posición angular con dirección norte o sur, teniendo como punto de referencia el Ecuador. En el hemisferio norte ( $0^\circ < \phi < 90^\circ$ ) se indica como positivo y en el hemisferio sur ( $-90^\circ < \phi < 0^\circ$ ) se indica como negativo.

**Declinación [ $\delta$ ]:** El eje polar sobre el que gira la tierra presenta una dirección casi constante y forma un ángulo de  $23.45^\circ$  con respecto al plano en el que orbita la tierra llamado plano de la elíptica y es positivo en el hemisferio norte  $+23.45^\circ$  y negativo en el hemisferio sur. En un día la declinación variará máximo  $0.5^\circ$ .

**Inclinación de la superficie [ $\beta$ ]::** Es el ángulo de inclinación de la superficie respecto a la horizontal ( $0^\circ < \beta < 180^\circ$ ). Cuando  $\beta$  alcanza los  $90^\circ$  se trata de una superficie vertical.

**Ángulo acimut [ $\Gamma$ ]:** Es el ángulo que forma la proyección del sol sobre una superficie horizontal que toma como referencia el sur, de esta manera los ángulos cuya posición es desde el Sur hacia el Oeste se consideran positivos, por tanto, el Oeste tendrá como referencia un Cimut de  $90^\circ$ , el Norte  $180^\circ$  y el Este  $270^\circ$ . [2].

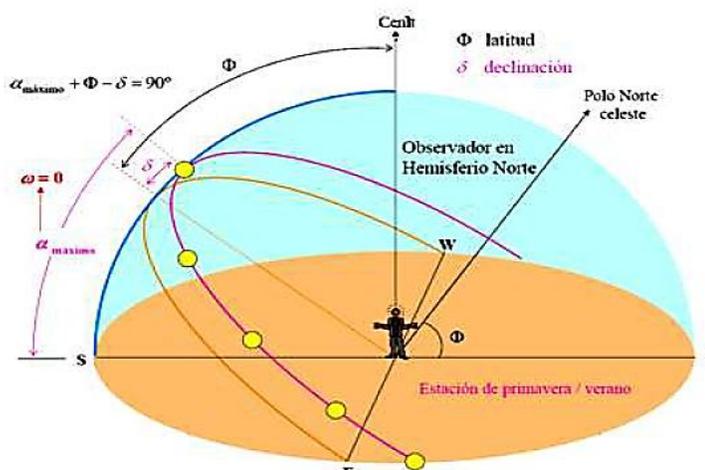
**Ángulo horario [W]:** Es el desplazamiento angular que presenta el sol durante los equinoccios donde el sol sale por el Este y se oculta por el Oeste, presentando un ángulo acimut que es igual a  $90^\circ$  en la mañana y  $270^\circ$  al atardecer.

**Angulo de incidencia [ $\theta$ ]:** Es el ángulo formado por la normal de la superficie y los rayos del sol sobre dicha superficie.

**Ángulo de cenit [ $\theta_z$ ]:** Es el ángulo que se forma entre la radiación directa que cae sobre una superficie horizontal y la normal de dicha superficie.

**Altitud del sol:** Se refiere a las variaciones de ángulo que presenta el sol respecto a un plano horizontal, cuando éste se encuentra más cerca o lejos de la tierra, adquiriendo diferentes alturas, provocando niveles más altos o más bajos de radiación solar, dependiendo la época del año.

A continuación, se muestra la dirección de la radiación solar respecto a un punto determinado.



**Fig. 3** Dirección de la Radiación [3].

### 3.4 La energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se basa en el fenómeno físico denominado efector fotoeléctrico, el cual consiste en la conversión de la luz emitida por el sol en energía eléctrica. Para llevar a cabo dicho proceso, se utiliza un dispositivo electrónico denominado célula solar.

Las células solares se conectan en serio o en párelo según las necesidades de tensión o corriente. Los conjuntos de varias de estas células conforman un módulo fotovoltaico. La característica principal de los sistemas de generación fotovoltaica es que generan electricidad cuando reciben la

luz del sol, además la cantidad de energía producida es directamente proporcional al nivel de radiación que incide sobre la superficie del módulo fotovoltaico. [3].

### **3.5 La Energía Solar Fotovoltaica en Ecuador**

La posición geográfica que ocupa el Ecuador dentro de la línea equinoccial le confiere un gran recurso solar que se mantiene casi invariable durante todo el año, además el ángulo con el que se proyecta la radiación sobre la superficie terrestre es casi perpendicular a la misma. Según el Atlas de Radiación Solar del Ecuador, indica que el país dispone de una radiación media global de 4.575 Wh/m<sup>2</sup>/día.

### **3.6 Sistemas de Generación Fotovoltaica**

La generación fotovoltaica se puede utilizar de distintas maneras según las necesidades que se tenga, de esta forma según el tipo de instalación, se pueden distinguir de forma general entre sistemas fotovoltaicos aislados de la red y sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

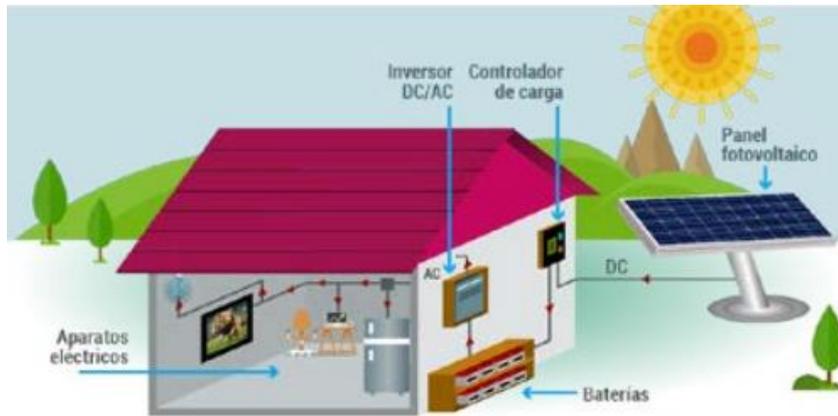
#### **3.6.1 Descripción de un sistema de generación Fotovoltaica aislada**

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas son aquellas que pueden suplir toda la demanda de energía eléctrica aquellas cargas que por diversos motivos no pueden conectarse a la red eléctrica pública.

Este sistema de generación se caracteriza por utilizar acumuladores de energía, con el fin de garantizar un suministro continuo, especialmente en los periodos que la generación es inferior al consumo. De esta manera, la corriente generada por los paneles fotovoltaicos se acopia en el banco de baterías a través de un regulador de carga que controla constantemente el proceso de carga y descarga, así como también la regulación de los niveles de corriente y voltaje del sistema. [4].

Los componentes que forman parte de un sistema fotovoltaico aislado son:

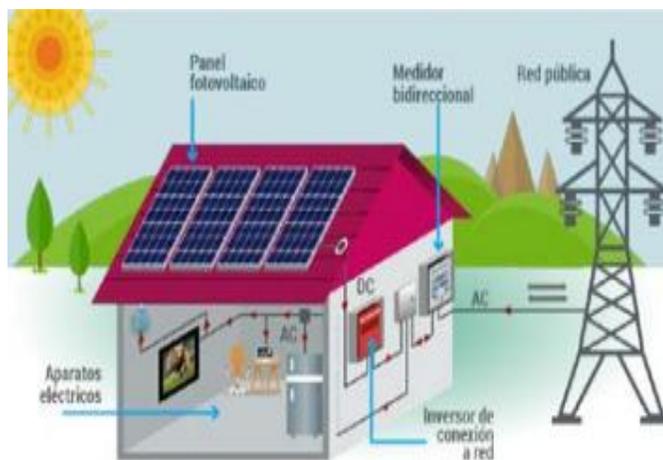
- Paneles fotovoltaicos
- Acumuladores de energía
- Regulador de carga
- Inversores de corriente



**Fig. 4** Sistema Fotovoltaico Aislado de la Red SFVA V [4]

### 3.6.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la red

La aplicación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red se da principalmente en vivienda o edificios que se encuentran dentro de las zonas urbanas y tiene como finalidad reducir el consumo energético de la red y de esta manera contribuir en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, ya que durante el día aprovecha la energía producida por los paneles, los cuales no emiten ningún tipo de contaminación al ambiente, disminuyendo de esta manera la demanda de energía que provienen de otras fuentes de generación como: Centrales térmicas, centrales eléctricas de carbón, etc. [4]



**Fig. 5** Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red [4]

En este tipo de sistemas de generación, las cargas se pueden alimentar con la energía producida por el sistema fotovoltaico o con la energía entregada por la red eléctrica, de esta manera, cuando la potencia entregada por los paneles fotovoltaicos no alcanza a cubrir la demanda requerida por la

carga, la red eléctrica cubre la diferencia de energía requerida. En caso contrario, cuando la demanda requerida por la carga es menor que la energía producida por los paneles, los excedentes de energía se inyectan directamente a la línea de distribución.

La Norma INEN clasifica los sistemas de generación conectada a la red en:

- SFVS sin respaldo de energía.
- SFVCB con respaldo de baterías.
- SFVCM con micro inversores.

### **3.7 Elementos del Sistema Fotovoltaicos**

Los sistemas de generación fotovoltaica se componen de varios equipos que deben dimensionarse de manera adecuada para transformar la radiación solar en energía eléctrica. De esta manera tenemos los siguientes equipos:

#### **3.7.1 Paneles Solares**

Constituyen la fuente de generación de corriente continua y están formados por uno o varios módulos fotovoltaicos interconectados entre si y cada panel solar a su vez se encuentra formado por varias células fotovoltaicas que se encuentran interconectadas en serie/paralelo según las necesidades de voltaje y corriente. Como norma general, los módulos fotovoltaicos disponen primero de celdas fotovoltaicas conectadas en serie con el fin de alcanzar la tensión deseada a la salida del panel solar y luego se asocian ramales de células fotovoltaicas conectadas en paralelo hasta alcanzar el nivel de corriente requerido.

#### **3.7.2 La celda fotovoltaica**

Las celdas fotovoltaicas convierten los fotones de luz solar en energía eléctrica continua mediante un proceso llamado efecto fotovoltaico. Al incidir la radiación del sol sobre la superficie del panel, los rayos de sol de diferentes longitudes de onda son reflejados, absorbidos e incluso logran a travesar su superficie. Solo los fotones de luz que son absorbidos por la celda producen electricidad.

Las celdas fotovoltaicas están formadas por materiales semiconductores dispuestos de tal forma que permiten que el efecto fotovoltaico sea posible. El mineral más utilizado para la fabricación de

semiconductores es el silicio (Si), debido a que es el segundo elemento más abundantes del planeta. [5]

### 3.7.2.1 Estructura de una celda fotovoltaica

La celdas fotovoltaicas se fabrican a partir de un cristal de silicio puro el cual actúa como una resistencia muy elevada, ya que cuenta con pocas cargas libres, que no permiten la circulación de electrones, por esta razón el cristal de silicio se somete a un proceso de difusión, el cual consiste en introducir pequeñas cantidades de átomos de otros elementos químicos, con la finalidad de disminuir la resistencia del cristal de silicio y permitir al mismo tiempo la creación de capas con propiedades eléctricas diferentes, es decir semiconductores con mayor cantidad de electrones o huecos (semiconductor tipo p y tipo n).

### 3.7.2.2 Funcionamiento de la celda Fotovoltaica

Las celdas fotovoltaicas convierten los fotones de luz solar en electricidad mediante un proceso llamado efecto fotovoltaico. Los fotones que absorben las celdas fotovoltaicas chocan con los electrones que se encuentran en la última capa de valencia de los átomos que forman parte de la estructura semiconductor tipo n; dependiendo de la intensidad de luz que absorban los paneles, los electrones libres del semiconductor n adquirirán la energía e intensidad suficiente como para vencer la barrera de tensión, fruto de la unión de las dos placas semiconductoras y atravesar mediante proceso de intercambio de electrones toda la estructura del material semiconductor tipo p. De esta manera se genera un flujo de electrones que permite la obtención de voltaje y corriente en continua.

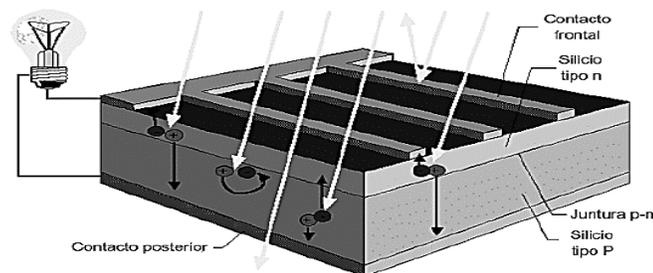


Fig. 6 Diagrama Esquemático de una celda solar de Silicio

### 3.7.3 Tipos de células Fotovoltaicas

Existen tres tipos de celda fotovoltaicas que se denominan mono-cristalinas, poli-cristalinas y amorfas.[6]

### **3.7.3.1 Estructura de silicio mono-cristalina**

Estas celdas fotovoltaicas se construyen a partir de silicio mono-cristalino, el cual se extrae de un único cristal de silicio, que se obtiene de un baño de silicio fundido.

Para crear la juntura P-N, se contamina el cristal de silicio puro con átomos de fosforo mediante un proceso llamado dopaje. Para la elaboración de este tipo de celdas se aplican las mismas técnicas de construcción que se utilizan para la fabricación de diodos y transistores.

El proceso de fabricación de los paneles implica altos consumos de energía que se ven reflejados directamente en su precio, haciéndolos más caros. Su alto costo es compensado por su alto rendimiento, ya que se ubica entre el 15% y el 18%.

Las células solares pueden medir de 10 a 15 cm y presentar formas cuadradas, redondas o semi-cuadradas. La forma redonda proporciona mayor rendimiento al material semiconductor, pero no aprovecha al máximo el espacio que ocupa, por esta razón se prefiere los semi-conductores con cortes cuadrados o semi-cuadrado.

Los paneles fotovoltaicos que presentan en su superficie un color azul o negro, cuentan con capas de recubrimiento antirreflejo, en caso de no presentar este recubrimiento la celda tendrá un color gris. [6].

### **3.7.3.2 Estructura de silicio poli-cristalino**

Las celdas fotovoltaicas poli-cristalinas, se elevaron a partir de lingotes de silicio fundido y recristalizado, los cuales se obtienen de los desperdicios de la formación de las celdas mono-cristalinas. Los desperdicios se vierten en moldes para luego cortarlas en obleas muy delgadas. Al simplificarse los procesos de producción y el costo del material, las celdas fotovoltaicas poli-cristalinas adquieren un coste intermedio entre las celdas mono-cristalinas y amorfas. La eficiencia de las celdas poli-cristalinas es menor que las celdas mono-cristalinas, ubicándose en un rango del 12% al 14%. [6].

### **3.7.3.3 Estructura de silicio amorfa**

A diferencia de las dos primeras células solares, esta no posee estructura cristalina. Se forman al depositar una capa homogénea de silicio sobre un sustrato, esto ocasiona que los átomos se dispongan a distancias y ángulos aleatorios, reduciendo de esta manera su eficiencia, ya que muchos de los enlaces covalente no están completos y por ende su capacidad de trasladar electrones es bastante pobre. Esta celda fotovoltaica presenta una eficiencia inferior al 10%, por tal motivo su coste es más bajo.

#### **3.7.3.4 Estructura de un Módulo Fotovoltaico**

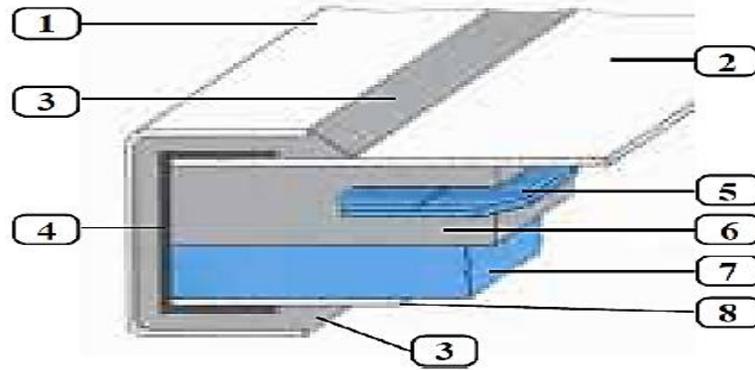
Debido a que una celda fotovoltaica solo puede generar de 0.5 a 0.6 Vcc, los paneles fotovoltaicos se componen de varias celdas que se conectan entre sí, en serie/paralelo para obtener voltajes estandarizados de 6, 12, 24, 36 y 48 Vcc, según los requerimientos de la carga. De esta manera, si se requiere ajustar el nivel de voltaje, los paneles fotovoltaicos se deben conectar en serie y si se requiere mayores niveles de corriente se deben conectar en paralelo.[7]

### **3.8 Partes del Módulo Fotovoltaico**

#### **3.8.1 Un módulo fotovoltaico consta de las siguientes partes:**

- 1. Marco del panel.** - Construido de aluminio ionizado con el fin de evitar la oxidación y alargar la vida útil del metal.
- 2. Superficie colectora.** - Posee un vidrio templado o plástico de alto impacto que protege al módulo de granizadas, vientos fuertes, tierra, arena, etc. El vidrio permite que el módulo se pueda auto-limpiar.
- 3. Material esponjoso.** - Sirve como protección para evitar que los bordes del vidrio se rompan o se produzca un cierre hermético.
- 4. Junta selladora.** - Se encuentra a lo largo del marco y sirve para impedir que ingrese humedad al interior del módulo fotovoltaico y evitar de esta manera que se oxiden las conexiones internas de los paneles o causen la apertura entre el contacto y el semiconductor.
- 5. La célula fotovoltaica.** - Resulta de la conexión de dos tipos de semiconductores diferentes que permiten la circulación de electrones al incidir la luz solar sobre su superficie.
- 6. Material encapsulante.** - Cubre la célula fotovoltaica utilizando un material altamente transparente a la luz solar.

7. **Sostén rígido de plástico o metal.**- Permite mejorar la disposición de calor
8. **Cara posterior al panel.** - Cuenta con un sostén de plástico o metal que permite tratar la potencia de salida del panel disipando el calor que ahí se encuentra. [7]



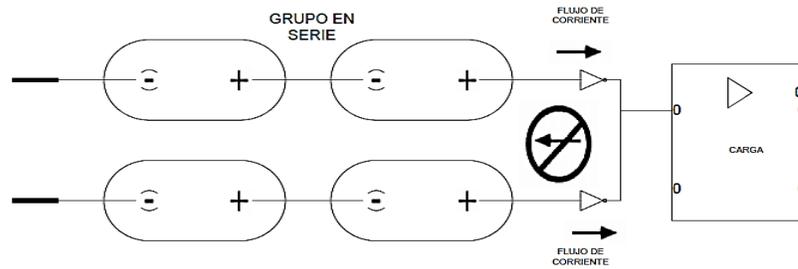
**Fig. 7** Estructura Mecánica de un Panel Fotovoltaico. [7]

### 3.8.2 Efecto de sombras y condiciones nocturnas

Cuando existe ausencia de luz solar sobre un módulo fotovoltaico ya sea porque llegó el anochecer o la radiación solar se vio obstruida por algún cuerpo en un momento determinado del día, su funcionamiento se ve alterado; cuando los rayos del sol desaparecen, las celdas generan una corriente muy pequeña y adquieren el comportamiento de diodos polarizados en directa con el banco de baterías. Al ser demasiado pequeña la cantidad de corriente generada por las celdas, los paneles no inyectan corriente en las baterías y el flujo de corriente cambia de dirección, el cual va de las baterías a los módulos.

Cuando los paneles consumen energía eléctrica se genera en ellas un sobrecalentamiento que puede provocar la destrucción del mismo, por tal motivo, para condiciones nocturnas se conectan diodos en serie con el modulo para prevenir que los paneles se averíen por el consumo de energía proveniente de las baterías. A tales diodos se les denomina “diodos de bloque” y solo consumen entre el 1 y 3% de la energía eléctrica que inyecta el módulo.

Los diodos de bloqueo permiten que las baterías no sean descargadas por los módulos debido a los consumos de energía. [7]



**Fig. 8** Diodo de bloqueo instalado para evitar el retorno de flujo [7]

### 3.9 Inclinación de los módulos Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos logran captar mayor energía cuando la radiación llega de manera perpendicular a la superficie del módulo, pero debido a los movimientos de traslación y rotación de la tierra alrededor del sol, dicho ángulo de inclinación no se mantiene constante a lo largo del día y durante todo el año.

Si bien es cierto que aplicando diversos métodos estadísticos se puede hallar el ángulo óptimo de inclinación, también es verdad que el ángulo de inclinación que permite captar la máxima radiación durante el mayor número de días se obtiene sumando 10 o 15 grados a la latitud del lugar donde se encuentran los módulos. Además, dicha inclinación impide que se acumule polvo u otras sustancias que logran obstruir el paso de la radiación y afectan la generación que el panel pueda producir.

Normalmente se suele tomar un ángulo mayor, aproximadamente  $15^\circ$ , en beneficio de una mayor captación durante el invierno, cuando la luminosidad disminuye, a costa de una peor captación en verano, cuando hay una mayor cantidad de luz. La orientación del panel debe ser hacia el norte si el lugar se encuentra en el hemisferio sur y orientados al sur si por el contrario los módulos se encuentran en un lugar del hemisferio norte.

### 3.10 Parámetros eléctricos de las celdas fotovoltaicas

#### 3.10.1 Curva Corriente-Voltaje de la Celda Solar

La curva corriente-tensión de los paneles fotovoltaicos indican los valores de voltaje y corriente que se obtendrán a la salida del módulo ante diferentes condiciones de irradiancia y temperatura. De esta manera, en el siguiente gráfico se indica los siguientes parámetros eléctricos:

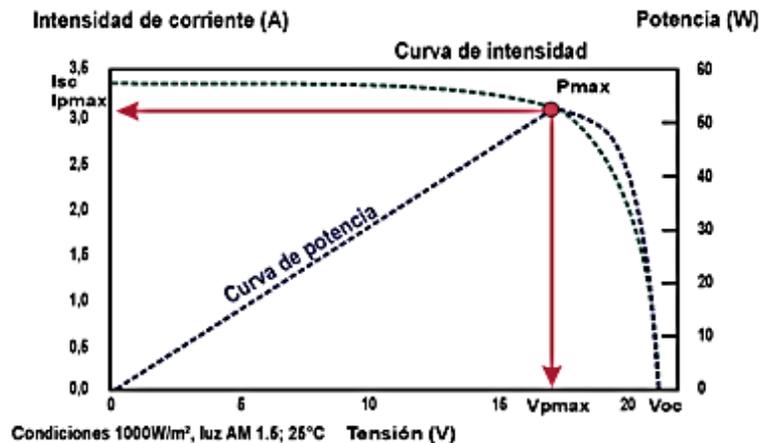


Fig. 9 Curva Corriente- Voltaje de la celda solar[7]

**Intensidad de corto circuito (Icc).**- Se produce cuando la tensión del módulo se registra en cero. Se puede comprobar ésta medida empleando un amperímetro a la salida de la célula solar.

**Tensión de Circuito Abierto (Vca).**- Es la tensión que se registra en el panel cuando no existe ninguna carga conectada. Representa la tensión máxima que puede suministrar el panel.

**Potencia Pico (Wp).**- Es la potencia máxima que se puede obtener del panel. Se ubica en el punto donde la tensión y la corriente son máximas, todos los puntos inferiores a dicho producto resultan en valores inferiores a dicha potencia.

**Factor de Forma (FF).**- Determina la forma característica de la curva I vs V y resulta de la razón entre la potencia máxima sobre el producto de Vca y Icc. El FF es menor que la unidad y mientras más cercano a dicho valor, el factor de forma será mejor. [8]

### 3.10.2 Eficiencia de los Módulos Fotovoltaicos

Para que los paneles fotovoltaicos transformen los rayos del sol en energía eléctrica de manera eficiente; las celdas que componen el módulo deben ser lo más idénticas posible, la manera de comprobar que las celdas son idénticas es a través de la curva (I vs V) la cual debe ser prácticamente la misma para todas las células que forman parte del módulo. De no cumplirse esta condición, la energía producida por unas celdas será disipada por otras del mismo conjunto. Por consecuencia la eficiencia de dicho panel será baja ya que disipa energía, pero por el contrario, cuando las curvas de (I vs V) son idénticas para todas las células del panel, la energía generada no se disipa en sus propios elementos y se dice que el módulo tiene una buena eficiencia.

$$\# \text{ Panparalelo} = \frac{I_{\text{pico}}}{I_{\text{mp}}} \quad (3)$$

Dónde:

$I_{\text{pico}}$  = Corriente pico

$I_{\text{mp}}$  = Corriente máxima pico

La eficiencia del panel se puede determinar entre la potencia máxima generada por el panel en relación a la cantidad de luz absorbida por las celdas y la superficie total del módulo. [8].

$$\eta = \frac{W_p}{E * A_c} \quad (4)$$

Dónde:

$W_p$ : Potencia pico del módulo fotovoltaico.

$E$ : Nivel de radiación que llega a la superficie del panel.

$A_c$ : Superficie del panel.

### **3.11 Sistema de Acumulación o Banco de Baterías**

Los rayos de sol que llegan a la superficie de los módulos fotovoltaicos, no se distribuyen de manera uniforme, sino que varían por múltiples razones. Por este hecho es necesario contar con un sistema de almacenamiento de energía que permita inyectar electricidad a la carga cuando los niveles de radiación solar no sean los óptimos para permitir que el generador fotovoltaico funcione a los valores nominales de diseño y satisfaga la demanda de la carga. Por ello se utilizan acumuladores.

### **3.12 Las Baterías**

Las baterías están constituidas por la unión de varias celdas de almacenamiento, de las cuales se puede extraer un voltaje nominal de 2 Vcc, permitiendo de esta manera que se pueden formar diferentes arreglos, a fin de obtener acumuladores cuyos voltajes de salida puedan suministrar 6, 12, 36 o 48 Vcc.

El proceso de carga y descarga que llevan a cabo las baterías se efectúa mediante un proceso electroquímico reversible. El proceso de conversión inicia con la carga de la batería, donde la energía eléctrica se transforma en energía química.

Una vez almacenada la energía, inicia el proceso de descarga, al utilizar dicha energía para alimentar a diferentes cargas, donde la energía química acumulada se convierte nuevamente en energía eléctrica. Como todo proceso de conversión, también viene acompañado de inevitables pérdidas de energía. [8]

### **3.12.1 Parámetros eléctricos de las baterías**

Los parámetros que forman parte de un acumulador de energía son:

**Capacidad de almacenamiento de energía.-** Se refiere a la cantidad de energía que almacena una batería; resulta de multiplicar el voltaje nominal por el número de amperios hora. Su unidad de medida es el (Wh) vatio-hora o (kWh) kilovatio-hora.

**Régimen de carga y descarga:** Tiempo que tarda la batería en acumular energía o descargarse hasta que su capacidad caiga por debajo del 80% de su capacidad nominal.

**Máxima corriente de descarga:** Se refiere a la mínima corriente en relación a las máximas corrientes de descarga de una celda, las cuales no deben superar nunca los valores límites de la misma. Esta corriente se expresa en función de la capacidad.

**Profundidad de descarga:** Se refiere a la cantidad de energía que se extrae de una batería durante un periodo determinado de descarga, considerando que la batería se encuentra totalmente cargada, se expresa en tanto por ciento. Se encuentra directamente relacionada con la duración del tiempo de la vida útil del acumulador.

**Voltaje de Corte:** Se refiere al agotamiento de energía del acumulador. La función de descarga viene dada dependiendo el régimen de descarga, tipo y modelo de la batería.

**Estado de Carga:** Indica el estado de carga de la batería de forma porcentual. El 100% indica que la batería almacenada la máxima cantidad de energía posible.

**Ciclos de Vida:** Es la cantidad ciclos (carga y descarga) que el acumulador puede soportar sin que la batería se vea afectada en su funcionamiento y su vida útil.

**Vida Útil.-** Se refiere al periodo durante el cual, la batería funciona manteniendo su capacidad y rendimiento de forma adecuada.

**Rendimiento.-** El rendimiento de un acumulador se pueden expresar de dos maneras:

**Rendimiento Farádico (Ah):** Se define como la relación entre la carga extraída y la carga total que se encuentra presente en el acumulador. Por medio de este parámetro se puede conocer el estado inicial de carga.

**Rendimiento Energético (Wh):** Se define en los mismos términos que el anterior, pero su unidad se expresa en Wh. [10]

### **3.10.3 Tipos de Baterías para aplicaciones Fotovoltaicas**

Los sistemas de generación fotovoltaica anteriormente eran instalados con baterías convencionales de plomo-ácido, los cuales, no satisfacían las necesidades de las instalaciones en las que operaban, por ello se fabricaron baterías para uso exclusivo de aplicaciones fotovoltaicas, de esta manera tenemos:

- Baterías Pb-ácido libres de mantenimiento (SLI).
- Baterías con electrolito tipo GEL.
- Baterías GEL-VRLA.
- Baterías AGM.

A pesar de existir en el mercado una gran variedad de acumuladores para sistemas fotovoltaicos, las baterías solares de plomo-ácido siguen siendo las más utilizadas para el almacenamiento de energía, debido al factor económico. [10]

### **3.12.2 Funcionamiento de las Baterías de Plomo-Ácido**

Las baterías de plomo-ácido, según su fabricación se pueden clasificar en: baterías de electrolito líquido y selladas. Las baterías de electrolito líquido se caracterizan por disponer orificios de acceso a su interior a través de tapones removibles que permiten verificar el nivel del electrolito, así como la eventual reposición del mismo, en caso de presentarse niveles bajos. El electrolito es una

solución diluida de ácido sulfúrico que permite la fluidez de iones y electrones del ánodo al cátodo y constan de 25% de ácido sulfúrico y 75% de agua destilada. [10]

Este tipo de baterías están constituidas por un cátodo de plomo (Pb) y un ánodo de óxido de plomo (PbO<sub>2</sub>), los cuales se encuentran sumergidos en ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) disuelto en agua.

### **3.12.3 Proceso de Descarga**

Durante el proceso de descarga el electrodo de plomo (Pb<sup>+2</sup>) reacciona con el electrolito (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y crean sulfato de plomo (PbSO<sub>4</sub>); esta reacción química ocasiona que el electrodo pierda dos iones positivos, ocasionando que dicho electrodo adquiera polaridad negativa. Al electrodo con polaridad negativa se le conoce como ánodo.

El electrodo de óxido de plomo también reacciona con el electrolito y al igual que el caso anterior, su combinación da lugar a sulfato de plomo, pero en este caso su reacción ocasiona el desprendimiento de dos electrones, ocasionando que el electrodo adquiera polaridad positiva. Al electrodo con polaridad positiva se le conoce como cátodo.

Finalmente, algunos iones de hidrogeno liberados por el ácido de sulfúrico se combinan con el oxígeno liberado por el cátodo y forman moléculas de agua. [11]

### **3.12.4 Proceso de Carga**

En la carga se produce un proceso llamado electrolisis del agua, el cual disocia las moléculas del ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) cuando se presenta un voltaje en la celda que supera cierto nivel, generando de esta manera, iones de hidrogeno (H<sup>+</sup>) y oxigeno (O<sup>-2</sup>). De la reacción química entre los electrodos con el electrolito forman sulfato de plomo el cual se convierte en dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>) (positivo) y plomo en estado esponjoso (negativo), además los iones del sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) son transportados de regreso al líquido electrolítico para formar ácido sulfúrico.

En cierto punto del proceso de carga deja de existir sulfato en el cátodo de plomo y esto ocasiona que dicho cátodo pierda continuidad del flujo eléctrico. De esta manera, si la carga de la batería se completa y la energía sigue fluyendo así el acumulador, los electrones son incapaces de poder desprender iones del electrolito, por lo que, éstos electrones se mantienen circulando en el ácido sulfúrico y algunos se combinan con el hidrogeno iónico ocasionando un fenómeno de gasificación

al interior de la batería. En este punto se recomienda desconectar la batería ya que el hidrogeno representa un alto grado de explosión.

La temperatura de operación y el número de veces que la batería se cargue y descargue ocasionan que el rendimiento de la misma se vea afectado, de esta manera, cuando se transfiere energía al acumulador, una parte de esta energía se convierte en calor debido al efecto Joule. Además, el efecto de la gasificación debido a la reacción redox (reducción-oxidación) que se lleva a cabo entre los electrodos y el líquido electrolítico debido al proceso de carga, también ocasionan una ligera pérdida de energía. [11]

### 3.12.5 Ciclo de Vida de las Baterías de Plomo-Ácido

El ciclo de vida tiene que ver con la capacidad de las baterías para resistir una cantidad determinada de ciclos de carga-descarga a una cierta tasa de descarga (TD). Debido a que, la TD influye directamente en el tiempo de vida de la batería durante los ciclos de carga y descarga; la capacidad de ciclos de vida que puede tener un acumulador se puede expresar multiplicando la TD promedio por el tiempo de vida de una batería, la cual está determinada por los periodos de carga y descarga. Al resultado de la operación descrita se le conoce como capacidad nominal de carga-descarga, la cual se expresa como el número de ciclos que equivale a la capacidad nominal del 100%.

La capacidad de carga-descarga de una batería de arranque, es de al menos 100 ciclos nominales, es decir, puede resistir un promedio de 500 ciclos considerando un TD de 20%. Las aplicaciones fotovoltaicas requieren de baterías de por lo menos 500 ciclos nominales, las cuales son igual a 1000 ciclos, considerando un TD de 50% de profundidad de descarga. [12]

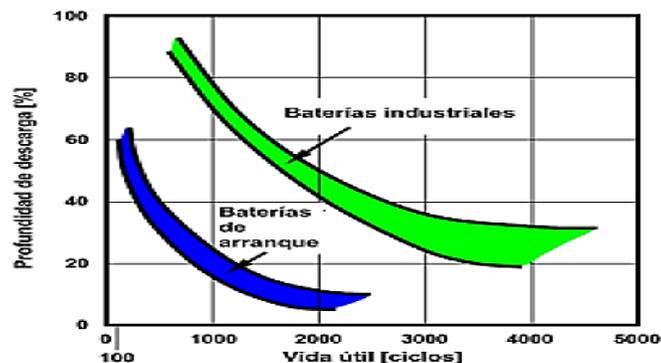


Fig. 10 Duración en ciclos de Carga-descarga en función de la descarga

### 3.12.6 Capacidad de las Baterías

Se trata del flujo de corriente que una batería puede suministrar durante una hora (Ah) hasta que el voltaje se encuentre por debajo del valor nominal. La capacidad de almacenamiento de las baterías se expresa en (Wh) vatios-hora o su vez en su múltiplo (KWh) kilovatios-hora. Las magnitudes Ah y Wh se relación a través de la siguiente ecuación. [12]

$$C = \frac{\frac{C_{AC}}{E_{f_{inv}}}}{V_{cc}} \quad (5)$$

Dónde:

C= Capacidad de las baterías

$C_{AC}$  = Consumo de energía de cargas en corriente alterna

$E_{f_{inv}}$  = Eficiencia de conversión de energía

$V_{cc}$  = Voltaje en bornes de acumuladores

Considerando 2 días de autonomía, la capacidad de las baterías es igual a:

$$C' = C * \text{Días de autonomía} \quad (6)$$

Debido a que las baterías no deben descargarse el 100% se considera un factor de descarga del 75%, de este modo tenemos:

$$C'' = \frac{C'}{FDM} \quad (7)$$

Dónde:

$C'$  = Capacidad considerando días de autonomía.

FDM = Factor de descarga máxima.

$$\#B_{paralelo} = \frac{C'}{C_B} \quad (8)$$

Dónde:

$\#B_{paralelo}$  = Numero de Baterías en Paralelo

La magnitud de corriente con la que se descarga una batería ocasiona que su capacidad no sea constante, por tal razón, los fabricantes otorgan información referente a la capacidad de corriente de descarga fija estimada. Dicho valor de capacidad de la batería se estima a una temperatura de 20°C considerando un valor determinado de corriente de descarga cuyo tiempo de descarga se estima en 10 horas. La temperatura ambiental es otro factor que afecta la capacidad de las baterías, ya que puede reducir cerca de 1% por cada valor de temperatura que se encuentre por debajo de los 20°C. En tanto que, temperaturas que superen los 30°C ocasionan que las baterías se desgaten más rápido y que el proceso de auto-descarga y consumo de electrolito se acelere. [12]

### **3.12.7 Facilidad de Instalación y Operación**

Las baterías deben encontrarse totalmente selladas y no debe exigir tareas de mantenimiento complicados, ya que generalmente serán operadas por personas inexpertas.

### **3.12.8 Banco de Baterías**

Los sistemas fotovoltaicos requieren sistemas de almacenamiento de energía con la mayor capacidad posible de acuerdo a las necesidades de su diseño. Esto se logra a través de un banco de baterías, al cual se le considera como la asociación de varios acumuladores, los cuales se conectan en serie, paralelo o combinados, de acuerdo a las necesidades de tensión/corriente.

### **3.12.9 Conexión en paralelo**

Con esta configuración, los acumuladores que conforman el banco de baterías operan al mismo voltaje mientras que la corriente que proporcionan es igual a la suma de sus capacidades individuales.

Para conectar las baterías en paralelo, el terminal positivo  $\oplus$  de un acumulador se conecta a otro terminal positivo, mientras que, el terminal negativo  $\ominus$  se conecta a otro terminal negativo y así sucesivamente con cada uno de los acumuladores.

Las baterías que se conecten deben ser similares en cuanto a sus características constructivas y su voltaje, ya que las baterías con mayor voltaje pueden alimentar a las de menor voltaje, lo que puede causar una sobrecarga y por ende provocar desperfectos en dichos acumuladores. [13].

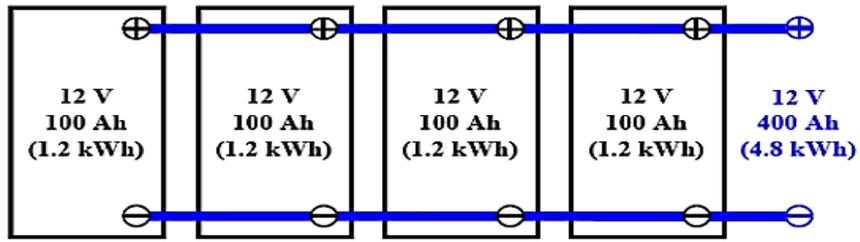


Fig. 11 Conexión de Baterías en Paralelo. [13].

### 3.12.10 Conexión en Serie

Con esta configuración las baterías mantienen la misma capacidad en Ah que uno solo de sus acumuladores, mientras que el voltaje es igual a la suma de los voltajes individuales de cada uno de los acumuladores.

Para conectar las baterías en serie, el terminal positivo  $\oplus$  debe conectarse a un terminal negativo de otro acumulador, mientras que, el terminal negativo de igual manera deben conectarse a un terminal positivo de otro acumulador. Los cables que se utilizan para realizar este tipo de configuración deben ser del mismo calibre y este debe ser lo más pequeño posible (20 cm entre cada bornera) con la finalidad de evitar caídas de tensión innecesarias.

Las baterías que se utilicen para realizar esta conexión deben ser de las mismas capacidades, ya que si esto no se cumple, las baterías de menor capacidad podrían sufrir daños por sobrecarga, en tanto que, las baterías de mayor capacidad nunca quedarían cargadas completamente. Otro aspecto que deben cumplir son el fabricante, tipo y edad. [13].

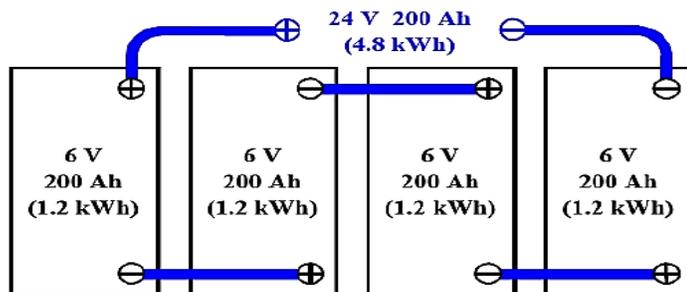
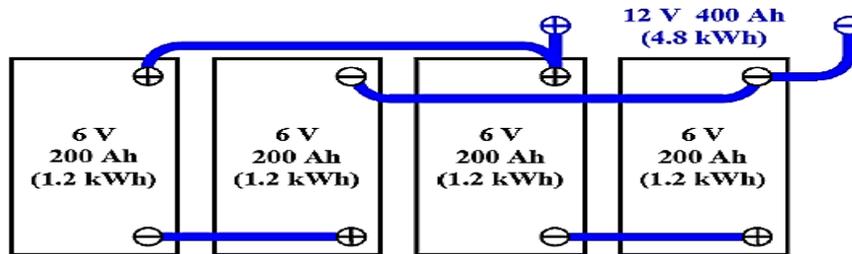


Fig. 12 Conexión de Baterías en Serie. [13].

### 3.12.11 Conexión serie-paralelo

Esta configuración es una combinación de las dos mencionadas anteriormente, trae como resultado un incremento de la corriente y el voltaje. Esta alternativa se elige cuando se cuenta con baterías cuya intensidad de corriente es alta y el voltaje es bajo.



**Fig. 13** Conexión Serie-Paralelo de un Banco de Baterías.

### 3.13 Subsistema de Regulación

El regulador de carga juega un papel muy importante dentro de los sistemas de generación fotovoltaica, pues es el cerebro del sistema, ya que, si no se utiliza un regulador de carga, no es posible suministrar energía eléctrica de manera confiable.

El rol de los reguladores de carga es muy importante, ya que, los módulos fotovoltaicos al depender de una fuente de energía variable como es la radiación solar, la cual no es constante durante el día y a lo largo de todo el año, pueden llegar a producir corrientes superiores a las corrientes de carga aceptadas por el banco de baterías, para evitar dicho inconveniente y tener el control del proceso de carga de las baterías, se utilizan los datos proporcionados por el fabricante para establecer relación entre estos parámetros. De esta manera, el circuito de control del regulador de carga, sabe para qué valores de voltaje y corriente proporcionados por el sistema fotovoltaico debe limitar el paso.

El avance tecnológico en cuanto a microcontroladores y microprocesadores ha ocasionado que algunos fabricantes desarrollen reguladores versátiles que pueden adaptarse a las condiciones de trabajo, tipos de batería y niveles de voltaje.

El control de carga se puede realizar de dos formas, conectando los reguladores en serie o en paralelo. En la figura que se muestra a continuación se presenta como cambia la corriente de carga dependiendo la configuración en la que se conecte.

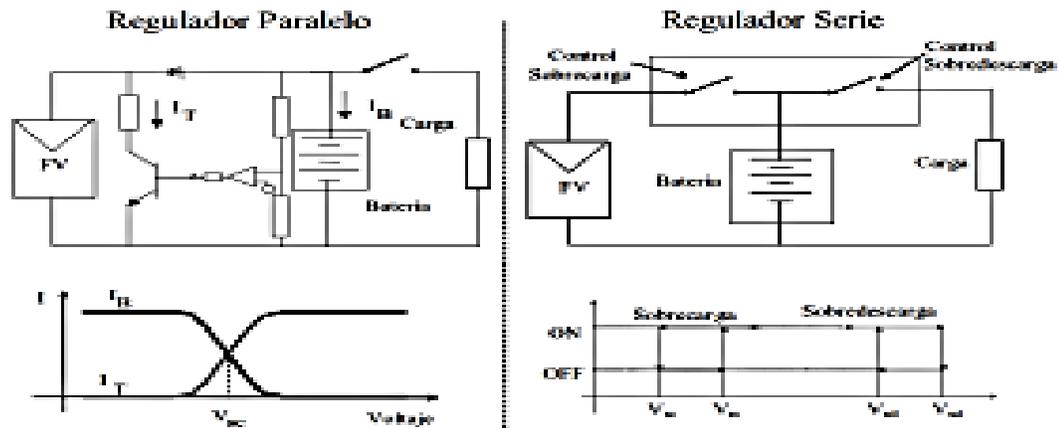


Fig. 14 Esquema básico de Operación del Regulador de carga en Serie y Paralelo. [13].

Para dimensionar el regulador de carga se debe considerar un factor de seguridad de 1.25, con la finalidad que este equipo pueda soportar las corrientes máximas inyectadas por los paneles fotovoltaicos.

$$I_{\text{picoRegulador}} = I_{sc} * \# \text{ pan} * \text{Fac. Seg} \quad (9)$$

### 3.13.1 Control en Paralelo

En esta configuración el regulador de carga se conecta en paralelo con el generador fotovoltaico y el banco de baterías, con la finalidad de poder detectar en los bornes del acumulador un voltaje equivalente a un valor establecido. Cuando esto ocurre el regulador crea en el lado del generador fotovoltaico una vía de baja resistencia que limita la corriente que llega al acumulador. Los reguladores conectados en paralelo tienen la capacidad de disipar la corriente que llega a la batería cuando esta se encuentra cargada completamente.

### 3.13.2 Control Serie

En esta configuración el sistema fotovoltaico se desconecta del banco de baterías cuando los acumuladores han alcanzado el estado de plena carga, de esta manera, el regulador de carga opera como un interruptor que proporciona una baja resistencia durante la etapa de carga y como un circuito abierto cuando el banco de baterías se encuentra completamente cargado.

Los reguladores conectados en serie, virtualmente no disipan nada de energía y la única potencia que requieren es para alimentar los circuitos de control y detección. [14].

### 3.14 El Inversor o Convertidor de CC/CA

Los sistemas de generación fotovoltaica requieren de un dispositivo que pueda transformar la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos y la almacenada en el banco de baterías, en ondas de corriente alterna, para alimentar las cargas que requieren corriente alterna para funcionar de manera adecuada. A dicho dispositivo se lo denomina Inversor o Convertidor de CC/CA.

Los inversores cuentan en sus circuitos con transistores y tiristores que convierten la corriente continua almacenada en el banco de baterías en una onda cuadrada. Dicha onda ya puede ser utilizada, pero antes se debe elevar el voltaje a través de un transformador, de esta forma se obtiene el denominado inversor de onda cuadrada; filtrando la señal descrita se obtiene formas de onda sinusoidales, semejantes a la existente en la red eléctrica convencional.

El rendimiento de estos dispositivos disminuye cuando se aplica una potencia menor a la potencia nominal que requiere para funcionar de manera adecuada. Por tal motivo, para considerar el rendimiento de los inversores se debe tener en cuenta la demanda de energía. Para que el equipo no presente problemas durante el funcionamiento del sistema de generación fotovoltaica, se debe ajustar el inversor lo mejor posible a las necesidades reales de potencia de la instalación.

El mercado actual ofrece una gran variedad de inversores, ya sea de onda cuadrada o sinusoidal, la elección del uno o del otro se realiza en base a las necesidades de la carga que se vaya a instalar, evidentemente el inversor de onda sinusoidal será el que mejor se adapte, en casi todos los casos, pero su costo es más elevado.

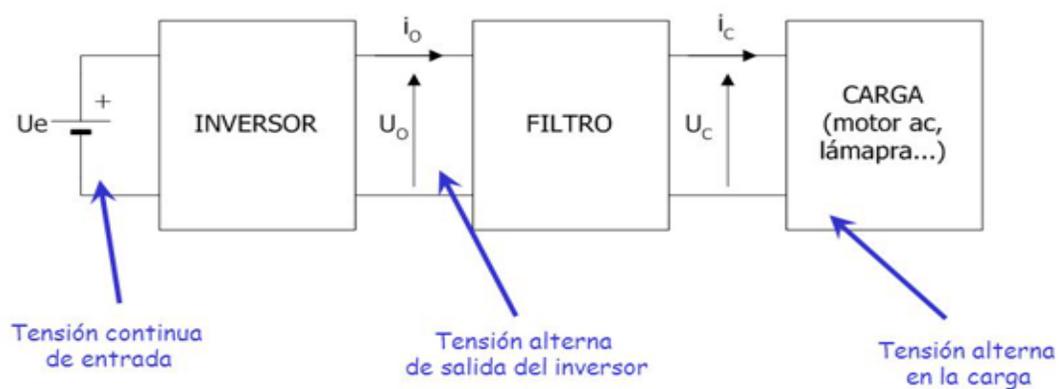


Fig. 15 Características de la Tensión del Inversor. [14].

El inversor debe soportar los picos de demanda que producen la carga, de esta manera, la corriente pico que debe soportar el inversor se calcula de la siguiente manera: [14]

$$I_{\text{pico AC}} = \frac{P_{AC}}{V_R * f_p} \quad (10)$$

$P_{AC}$  = Potencia Instalada de equipos en corriente alterna.

$V_L$  = Voltaje laboratorio.

$F_p$  = Factor de potencia.

### 3.15 Cables de Conexión

Los conductores son indispensables para alimentar los equipos que integran la carga, así como los equipos que conforman el conjunto de equipos del sistema de generación fotovoltaica.

La elección de conductores en los sistemas fotovoltaicos es importante ya que:

- El nivel de corriente es alto.
- Los cables quedan expuestos a condiciones ambientales como: calor, frío, humedad, lluvia, contaminación ambiental, entre otros.
- La caída de tensión al inicio y fin del conductor debe mantenerse entre el 3 y 5% del voltaje nominal.

#### 3.15.1 Características de los Conductores

Los cables que se utilizan en sistemas fotovoltaicos, presentan las siguientes características:

**Conductor que lo Constituye:** Los metales que más se emplean para elaborar cables eléctricos de baja tensión son el cobre y el aluminio. Dado que el cobre presenta mejores características mecánicas y conductivas, es el material más utilizado.

**Aislamiento:** Es la parte que recubre el contorno del material conductor en toda su longitud, su espesor debe ser adecuado a la temperatura de trabajo del cable. Entre los diversos materiales utilizados como aislamientos de cables tenemos: [14].

- Policloruro Vinilo (PVC).

- Caucho Etileno-Propileno (EPR).
- Polietileno Reticulado (XPLE). Entre otros.

### 3.15.2 Comportamiento de los Conductores ante diversas condiciones

Los conductores de toda instalación son propensos a sufrir daños por diversas condiciones, dichas condiciones, pueden ser propias de la instalación o debidos agentes externos. En los dos casos, la durabilidad del aislamiento es lo más importante por ello los materiales que se utilicen para este propósito deben ser adecuados para soportar dichas adversidades.

**Máxima Temperatura:** Este parámetro es muy importante, ya que representa el grado de temperatura de trabajo que el aislamiento puede soportar sin deteriorarse. Generalmente viene en °C. [14]

**Máxima Corriente:** Representa la corriente máxima que puede circular por el conductor sin causar ningún cambio en su estructura. Los conductores que se utilizan en la actualidad, se diseñan para soportar hasta el 125% de la corriente máxima que lo atraviesa.

**Caídas de voltaje:** La caída de voltaje de un conductor está en función del valor de su resistencia interna ( $R_c$ ) y del valor máximo de corriente ( $I_c$ ) que puede atravesar por su sección, de esta manera su valor se calcula como se indica a continuación: [14].

$$\Delta V = R_c * I_{max} \quad (11)$$

$$I_{max} = 1.25 * I_c \quad (12)$$

$$\Delta V [V] = \frac{\Delta V(\%) * V_{nominal}}{100} \quad (13)$$

Dónde:

$\Delta V$ : Caída de voltaje en el conductor, se expresa en [V].

$I_{max}$ : Máxima corriente que circula por el conductor, se expresa en [A].

$\Delta V(\%)$ : Porcentaje de caída de voltaje respecto al valor nominal de tensión de operación.

$V_{nominal}$ : Voltaje nominal de funcionamiento del sistema, 12Vcc y 110Vca.

El valor de la resistencia de un conductor es igual al producto de la resistividad del conductor por la longitud y dicho resultado se divide para la sección transversal del mismo.

$$R_c = \frac{\rho * L}{S} \quad (14)$$

Dónde:

$R_c$ : Resistencia óhmica del conductor. Se expresa en ( $\Omega$ ).

$\rho$ : Resistividad del conductor, se expresa en ( $\rho * \text{mm}^2/\text{m}$ ).

$L$ : Longitud del conductor.

$S$ : Sección transversal del conductor, se expresa en ( $\text{mm}^2$ ).

La sección transversal del conductor, se calcula en función de la máxima caída admisible de tensión, a través de la siguiente ecuación.

$$S = \frac{\rho * L * I_{\text{max}}}{\Delta V} \quad (15)$$

Las pérdidas existentes en los conductores debido al efecto Joule se determina a través de la siguiente ecuación: [14]

$$P_C[\text{W}] = I_{\text{máx}}^2 * R_C \quad (16)$$

Dónde:

$P_C[\text{W}]$  = Perdida en el conductor

$I_{\text{máx}}^2$  = Corriente máxima que atraviesa por el conductor.

$R_C$  = Resistencia del conductor

La pérdida de energía en el conductor se determina a través de:

$$E_P = P_C * T_{\text{uso}} [\text{Wh/día}] \quad (17)$$

$E_P$  = Pérdida de energía en el conductor

$P_C$  = Perdida en el conductor

$T_{uso}$  = Tiempo de uso

### 3.16 Componentes Adicionales

Los sistemas de generación fotovoltaica requieren de elementos adicionales, que le permitan integrarse tanto eléctrica como mecánicamente. Los componentes adicionales que se requieren son los siguientes:

#### 3.16.1 Cajetines de Conexión

Permiten realizar derivaciones en los conductores que se dirigen a los diferentes puntos de carga, interruptores, etc. Presenta forma de cubo y están hechas de plástico. [15].

### 3.17 Sentron Pac

Son instrumentos y equipos de medición que permite la visualización de los parámetros más importantes de la red eléctrica, estos multimedidores proveen información del estado de las instalaciones, suministrando la medición de los valores máximos, mínimos y medios de: voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, frecuencia, factor de potencia, simetría y armónicos.

En el mercado existen de diferentes marcas y tipos, pero solo detallamos la característica y versiones de la marca siemens, la cual será utilizada para verificar de forma constante el estado de suministro de energía. [16].



**Fig. 16** Sentron Pac 3200. [16].

Sentron Pac 3100: Modelo básico la cual muestra valores de voltaje, frecuencia y potencia, precisión de 1.

Sentron Pac 3200: modelo medio, se visualiza valores de voltaje de línea-línea y demás parámetros.

Sentron Pac 4200: medidor Top, incorpora puertos de comunicación ethernet, mide 20 parámetros, tiene una precisión 0.2

### **3.18 Transferencia de Energía de la Red vs Sistema Fotovoltaico**

La transferencia de energía entre el sistema de generación fotovoltaica y la red eléctrica que alimentan a la carga se realiza de la siguiente manera:

- 1.- Cuando no haya la energía de la red eléctrica automáticamente se conecte al sistema de generación fotovoltaico para alimentar las cargas:
- 2.- Si hay ya la presencia de energía eléctrica de la red automáticamente desconecte el sistema de generación fotovoltaica, de manera que se evite un cortocircuito debido a la presencia de los dos tipos de energía.

Estos dos requerimientos para la transferencia de energía necesariamente se necesitan de una programación mediante un PLC, lo cual nos permitirá que sea eficiente el cambio de energía. [17].

#### **3.18.1 Equipos para la Transferencia de Energía.**

##### **3.18.1.1 Contactores**

Es un elemento electromecánico que es capaz de conectar y desconectar receptores eléctricos de potencia, por ejemplo: motores eléctricos y resistencias eléctricas etc.

Cuando es necesario conectarse algún receptor eléctrico no se puede utilizar directamente un interruptor porque dicho elemento no es capaz de soportar la elevada corriente eléctrica. Es por ello necesario algún dispositivo que se encargue de efectuar dicha maniobra. El contactor es elemento principal de todo el circuito de automatismos eléctricos.



**Fig. 17** Características del Contactor. [18].

### **3.19 Software RETscreen (Programa para Estudios y Análais de Sistemas Energéticos)**

El programa fue desarrollado por el departamento de Recursos Naturales de Canadá y cuenta con el apoyo de GEF (Fondo Ambiental Global) y la NASA.

Es un software que es destinada para el estudio y análisis de sistemas energéticos, no es una herramienta de simulación, pero importante para el proceso de diseño de sistemas en que la energía es una variable de suma importancia.

Esta herramienta se basa en el programa Microsoft Excel, en la cuales los responsables económicos, arquitectos o ingenieros deben modelar y analizar los datos proyecto de energía limpia, es decir que pueden ser utilizados para analizar fuentes de energías renovables y convencionales.

Dentro de los estudios que pueden incluir los proyectos están:

- Eficiencia energética
- Calefacción y enfriamiento
- Energía
- Tecnologías convencionales
- Calor y energía combinados.

El software Retscreen posee un análisis estándar que consta de cinco pasos:

- Análisis y condiciones del sitio
- Método de energía
- Análisis de costos
- Análisis financiero
- Análisis de riesgo

#### **3.19.1 Uso en un sistema FV del programa RETscreen**

Para aplicar Retscreen a sistemas FV debemos seguir el siguiente camino: [18]

- Primero se analiza un sistema aislado de red similar al que deseamos estudiar (el mismo tipo de controlador con el mismo tipo de inversor, el mismo lugar y los mismos paneles)-
- Allí obtenemos el Factor de Planta (FP), que es la fracción de tiempo que el sistema genera a lo largo del año.
- Luego analizamos el sistema conectado a red. Aquí ingresamos el FP obtenido en el paso anterior.

•Finalmente hacemos el análisis económico.

#### 4. METODOLOGIA

**Tabla 2** Metodología de la Propuesta Tecnológica del Proyecto

<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENCION</b>	<b>INDICADORES</b>
Recopilar información relacionada con los parámetros de sistemas fotovoltaicos para la determinación de parámetros constitutivos importantes.	<b>Independiente:</b> Parámetros de Radiación Solar	Cantidad de Radiación Solar	Valor de la Radiación solar en el Campus Salache
Diseñar el sistema fotovoltaico que alimente las cargas del invernadero y del laboratorio del campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi acorde a sus necesidades energéticas.	<b>Dependiente:</b> Diseño y Costo beneficio del proyecto.	Cantidad de Paneles Solares, baterías. Funcionamiento del Sistema	Números de Paneles y baterías a utilizar
Implementar el sistema fotovoltaico en el laboratorio e invernadero de granos andinos para la evaluación de su funcionamiento			Comportamiento del sistema durante las prueba de Funcionamiento.

#### 5. DISEÑO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El invernadero de la Universidad Técnica de Cotopaxi ubicado en el sector de Salache, dedicado al cultivo de granos nativos del sector diariamente utiliza equipos eléctricos para el cuidado de los mismos, el uso de los artefactos eléctricos conlleva un gasto que se puede evitar con la instalación

de un sistema de generación eléctrica fotovoltaico híbrido; que alimente las cargas del invernadero como es el riego de agua y minerales, ventilación etc.

Además de esta manera se contribuye al fortalecimiento de este tipo de tecnologías y se ayuda a cuidar el medio ambiente puesto que este tipo de energía es limpia y renovable.

### 5.1.1 Descripción del sistema eléctrico.

El sistema eléctrico del invernadero parte desde el tablero principal ubicado junto a la puerta del laboratorio de Granos Andinos y llega hasta el tablero de distribución del invernadero que se encuentra a una distancia de 7 metros y está compuesta de una línea monofásica a dos hilos con conductores de calibre 8 AWG y a un nivel de voltaje de 120 V.

### 5.1.2 Determinación de la carga instalada.

El sistema de generación fotovoltaico tiene como prioridad alimentar un sistema de control riego, temperatura y ventilación, las cuales se encuentran en el invernadero que se ubica detrás del laboratorio de granos andinos del campus Salache. Debido a que dichos equipos funcionaran solo unos minutos, se prevé utilizar el resto de energía acumulada en las baterías para alimentar la carga más prioritaria del laboratorio de granos andinos la cual es un congelador horizontal de 300 (W) [vatios]. La tabla 3 muestra la carga instalada del sistema eléctrico que es de 2,57 kW.

**Tabla 3.** Potencia instalada

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia (W)</b>
1	Control de riego de agua (invernadero)	1	745,7
2	Ventilador (invernadero)	1	250
3	Mini motor elevador de cuerda (invernadero)	2	1140
4	Pantalla LCD HACER	1	12
5	Impresora EPSON L575	1	11
6	Impresora Hp	1	365
7	Pantalla Ambient Wether	1	7,2
8	Modem Hp	1	4,15
9	Lámpara Osram	1	32
<b>Total</b>			<b>2575,15</b>

### 5.1.3 Determinación de la energía del sistema.

La tabla muestra 4 muestra la energía consumida por el sistema, la energía media consumida es de 1,60 kWh/día.

**Tabla 4** Cálculo de la energía

Ítem	Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h)	Energía (Wh/día)
1	Control de riego de agua (invernadero)	1	745,7	0,5	372,85
2	Ventilador (invernadero)	1	250	0,25	62,5
3	Mini motor elevador de cuerda (invernadero)	2	570	0,25	285
4	Pantalla LCD HACER	1	12	24	288
5	Impresora EPSON L575	1	11	1	11
6	Impresora Hp	1	365	0,5	182,5
7	Pantalla Ambient Wether	1	7,2	24	172,8
8	Modem Hp	1	4,15	24	99,6
9	Lámpara Osram	1	32	4	128
<b>Total</b>					1602,25

#### 5.1.4 Dimensionamiento del banco de baterías

Para el dimensionamiento del banco de baterías es importante conocer su capacidad, la cual se determina en base a la eficiencia del inversor y el voltaje de las baterías. De esta manera aplicando la ecuación 5 se obtiene:

$$C = \frac{C_{AC}}{E_{f inv} V_{cc}} = \frac{1602.25}{0.85 \cdot 12} = 157.08 \left[ \frac{A.h}{día} \right]$$

Además si se considera 2 días de autonomía, por lo tanto si se aplica la ecuación 6 se obtiene que:

$$C' = C \cdot \text{Días de autonomía} = 157.08 \left[ \frac{A.h}{día} \right] \cdot 2 \text{ día} = 314.16 \text{ [Ah]}$$

Debido a que las baterías no deben descargarse el 100% se considera un factor de descarga del 75%, de este modo aplicando la ecuación 7 se tiene la capacidad nominal del sistema de acumulación:

$$C'' = \frac{C'}{FDM} = \frac{314.16 \text{ [Ah]}}{0.75} = 418.88 \text{ [Ah]}$$

Considerando que los acumuladores Marca RITAR son 100 Ah y 12 V, se calcula el número de baterías en paralelo mediante la ecuación 8:

**Tabla 5** Características de la batería utilizada.

Marca	Características	
RITAR	12V DC 100Ah	

$$\#B_{\text{paralelo}} = \frac{418.88[Ah]}{100 [Ah]} = 4.19; \text{ entonces se ocuparán 5 baterías}$$

### 5.1.4.1 Determinación de paneles fotovoltaicos e inclinación

Para determinar el número de paneles que se debe utilizar es importante conocer la Radiación promedio horizontal diaria en Salache, la cual se determinó por medio del programa RETScreen Expert de la siguiente manera:

### 5.1.4.2 Irradiación Horizontal Diaria para Salache

Es la suma de las radiaciones electromagnéticas directa y difusa emitidas por el sol. Esta magnitud se expresa en unidades de potencia por superficie y se mide en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). Este es el dato más importante, ya que permite conocer el nivel de energía solar que se puede aprovechar en una determinada región. En la tabla 6 mostrada a continuación, se indican los valores obtenidos en el programa Retscreen Expert.

**Tabla 6** valores obtenidos en el programa Retscreen Expert.

Mes	Temperatura del Aire	Humedad Relativa	Precipitación	Radiación Solar diria horizontal	Presión Atmosférica	Velocidad del viento	Temperatura del Suelo	Grados días de Calefacción	Grados días de Refrigeración
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /d	KPa	m/s	°C	C-d	C-d
Enero	11,4	84,9	134,23	4,39	71,5	1,9	13	205	43
Febrero	11,14	86,3	157,92	4,46	71,6	1,9	12,9	185	39
Marzo	11,14	86,6	172,36	4,64	71,6	2	12,8	205	43
Abril	11,15	86,6	174,3	4,45	71,6	2	12,8	195	45
Mayo	11,2	85,6	130,51	4,26	71,6	2,6	12,3	211	37
Junio	10,4	84	99	4,23	71,6	3,7	11,3	228	12
Julio	9,9	81,9	75,95	4,32	71,6	4,2	10,9	251	0
Agosto	10	79,3	63,24	4,64	71,6	4,2	11,2	248	0
Septiembre	10,7	78,5	76,5	4,62	71,6	3,1	12,2	219	21
Octubre	11,2	80,5	103,23	4,61	71,6	2,2	12,9	211	37
Noviembre	11,3	81,9	105,6	4,7	71,6	2,1	12,9	201	39
Diciembre	11,4	83,5	109,12	4,45	71,5	2	13	205	43
Anual	11	83,3	1401,96	4,48	71,5	2,7	12,3	2,562	361
Fuente	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA

m                      10                      0

**Fuente:** Aplicación RETScreen

### 5.1.4.3 Irradiación Horizontal Extraterrestre

Permite conocer el nivel de radiación que llega a una superficie perpendicular a los rayos del sol, en función del ángulo de inclinación de los rayos solares.

En la tabla 7 se indican los valores obtenidos en el programa Retscreen Expert para diferentes valores de latitud. Se tomarán los datos de la columna 1.2°, ya que pertenece a Salache.

**Tabla 7** Irradiación horizontal extraterrestre (Bodm)

<b>Latitud</b>	<b>0°</b>	<b>1.2°</b>	<b>2.5°</b>
<b>Enero</b>	10.065	<b>10.191</b>	10.317
<b>Febrero</b>	10.4378	<b>10.510</b>	10.583
<b>Marzo</b>	10.549	<b>10.552</b>	10.555
<b>Abril</b>	10.215	<b>10.144</b>	10.074
<b>Mayo</b>	9.659	<b>95.37</b>	94.155
<b>Junio</b>	9.286	<b>91.415</b>	89.97
<b>Julio</b>	9.399	<b>92.6425</b>	91.295
<b>Agosto</b>	9.878	<b>97.847</b>	96.915
<b>Septiembre</b>	10.316	<b>10.260</b>	10.260
<b>Octubre</b>	10.393	<b>10.481</b>	10.481
<b>Noviembre</b>	10.128	<b>10.344</b>	10.344
<b>Diciembre</b>	9.912	<b>10.189</b>	10.189

**Fuente:** Aplicación RETScreen

#### **5.1.4.4 Coeficiente de correlación**

Considerando que el Ecuador se ubica en la línea equinoccial, los rayos del sol caen de forma perpendicular, pero debido a sustancias como el polvo, basura, vegetación u otros cuerpos que puedan obstruir la radiación, así como la influencia de las épocas del año se debe considerar un ángulo de inclinación  $\beta = 15^\circ$ , con respecto a la horizontal en la posición Norte-Sur.

El valor de  $\beta$  sirve para encontrar el coeficiente de correlación (Rb). Dichos valores se determinaron por el programa Retscreen, los cuales se indican a continuación:

**Tabla 8** Coeficiente de correlación

Latitud	0°	1.2°	2.5°
Enero	0.81	<b>0.8175</b>	0.825
Febrero	0.87	<b>0.87625</b>	0.8875
Marzo	0.95	<b>0.955</b>	0.96
Abril	1.03	<b>1.03625</b>	1.0425
Mayo	1.105	<b>1.11125</b>	1.1175
Junio	1.135	<b>1.1425</b>	1.15
Julio	1.115	<b>1.1225</b>	1.13
Agosto	1.06	<b>1.06655</b>	1.0725
Septiembre	0.98	<b>0.985</b>	0.99
Octubre	0.895	<b>0.90125</b>	0.8075
Noviembre	0.825	<b>0.8325</b>	0.84
Diciembre	0.795	<b>0.8025</b>	0.81

Fuente: Aplicación RETScreen

### 5.1.4.5 El valor de la radiación solar en Salache

**Tabla 9** Valor de la radiación solar en Salache

Temperatura del aire °C	Radiación Global kWh/m <sup>2</sup>	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m <sup>2</sup> día							
		n (Horas)	Ho (kWh/m <sup>2</sup> /d)	Rb	Bodm	Ktm	Kdm	Hd	Ht (kWh/m <sup>2</sup> /d)
16,7	0,183	24	4,39	0,82	10,191	0,43	0,51	2,25	3,99
16,8	0,186	24	4,46	0,88	10,510	0,42	0,52	2,32	4,18
17,1	0,193	24	4,64	0,96	10,552	0,44	0,50	2,33	4,53
16,7	0,185	24	4,45	1,04	10,145	0,44	0,50	2,24	4,52
16,2	0,178	24	4,26	1,11	9,537	0,45	0,50	2,11	4,48
15,6	0,176	24	4,23	1,14	9,142	0,46	0,48	2,02	4,52
15,7	0,180	24	4,32	1,12	9,264	0,47	0,47	2,04	4,58
16,8	0,193	24	4,64	1,07	9,785	0,47	0,46	2,15	4,80
17,8	0,193	24	4,62	0,99	10,288	0,45	0,49	2,28	4,58
18,2	0,192	24	4,61	0,90	10,437	0,44	0,50	2,31	4,36
17,5	0,196	24	4,70	0,83	10,236	0,46	0,48	2,26	4,27
16,9	0,185	24	4,45	0,80	10,466	0,43	0,52	2,31	4,00
	0,156		3,75						3,49
	0,174		4,17						4,25
16,8			4,48						52,80
									4,40

Fuente: Aplicación RETScreen

Los cálculos de índice de claridad ( $K_{Tm}$ ), radiación global de la superficie inclinada, fracción difusa media ( $K_{dm}$ ) e irradiación difusa ( $H_d$ ) se realizaron considerando que  $\rho = 17\%$  (albedo: porcentaje de energía del sol que se refleja e irradia).

Como se puede observar en la tabla 9, el valor de radiación que se obtiene en la posición geográfica donde se ubicara el proyecto es alto, pero cave recalcar que existen meses del año con mayor o menor incidencia, sin embargo, los cálculos se realizaron considerando las condiciones más desfavorables.

Conociendo el nivel de radiación, es posible determinar las horas de sol equivalentes, mediante la aplicación de la ecuación 1.

$$HSE = \frac{I_{pd}}{Est.sol} = \frac{4.4 \left[ \frac{kWh}{m^2} \right]}{1 \frac{kWh}{m^2}} = 4.4 \text{ Horas de sol}$$

También es posible determinar la corriente pico del sistema fotovoltaico, con la aplicación de la ecuación 2.

$$I_{pico} = \frac{C}{HSE * Efic. Bat} = \frac{157.08}{4.4 * 0.8} = 44.63 \text{ A}$$

Las características de los paneles utilizados son:

**Tabla 10** Características de los paneles Mono Solar

<b>PANEL SOLAR MONO SOLAR (MONO SOLAR)</b>	
Características	
Potencia Máxima Nominal (Pmax)	150 W
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	22.32 V
Corriente de Cortocircuito (Icc)	9.00 A
Voltaje a Pmax (Vmp)	18.0 V
Corriente a Pmax (Imp)	8.34 A
Temperatura Nominal de la celda de Operación (NOCT)	$48 \pm 2^\circ C$
Voltaje máxima del Sistema	1000VDC
Capacidad Máxima del Fusible en Serie	18A

Potencia de 150 [Wp] con  $V_{mp} = 18 \text{ V}$ , una  $I_{mp} = 8.34 \text{ A}$  y  $I_{sc} = 9 \text{ A}$

Ahora se determina el número de paneles en paralelo gracias a la aplicación de la ecuación 3.

$$\# Pan_{paralelo} = \frac{I_{pico}}{I_{mp}} = \frac{44.63 \text{ A}}{8.34 \text{ A}} = 5.35 \text{ paneles, pero se utilizarán 5 paneles}$$

#### 5.1.4.6 **Inclinación de paneles**

Para determinar la inclinación que permitirá captar la máxima radiación solar en los meses de menor radiación [invierno], cuando la luminosidad del sol disminuye, a costa de una peor captación en [verano] cuando la luminosidad aumenta, se debe sumar  $15^\circ$  a la latitud del lugar.

Se sabe que la latitud de Salache es:  $1.2^\circ$

De este modo, la inclinación a la que se ubicaran los paneles es de:

Ángulo de inclinación:  $15^\circ + 1.2^\circ = 16.2^\circ$

#### **Orientación**

Debido a que Salache se encuentra bajo la línea equinoccial la orientación de los paneles será hacia el norte.

#### 5.1.5 **Especificaciones del Regulador de carga:**

Para dimensionar el regulador de carga se debe considerar un factor de seguridad de 1.25, con la finalidad que este equipo pueda soportar las corrientes máximas inyectadas por los paneles fotovoltaicos. Por lo tanto aplicando la ecuación 9 se tiene.

$$I_{\text{picoRegulador}} = I_{\text{sc}} * \# \text{ pan} * \text{Fac. Seg}$$

$$I_{\text{picoRegulador}} = 9 * 5 * 1.25 = 52.25 \text{ A}$$

Se utilizará un regulador de carga de 60A marca Tristar



**Fig. 18** Regulador de carga utilizado en el sistema fotovoltaico

### 5.1.6 Especificaciones del inversor:

Se considera un factor de potencia del 0.92 para el sistema eléctrico. El inversor debe soportar los picos de demanda que producen la carga, de esta manera, la corriente pico que debe soportar el inversor se calcula con la aplicación de ecuación 10:

$$I_{\text{pico AC}} = \frac{P_{AC}}{V_R * f_p} = \frac{1690}{120 * 0.92} = 15.31 \text{ A}$$

$$P_{\text{Inversor}} = I_{\text{pico}} * V_{\text{sistema}} = 15.31 * 120 = 1837.2 \text{ W}$$

Por tal motivo se utilizará un inversor de 2000 W, cuyas características son:

**Tabla 11** Especificaciones Técnicas del inversor

<b>INVERSOR DE VOLTAJE</b>	
Características	
Salida de potencia Continua	2000 W
Potencia Máxima de Salida	4000 W
Voltaje de Entrada DC	12 V
Voltaje de salida de CA	110-120 V
Frecuencia de Salida	60 ± Hz
Alarma de Baja tensión	10.2-10.8 V
Apagado de Baja Tensión.	9.2-9.8 V DC
Cierre de alto voltaje.	15-16 V DC
Protección de sobrecarga	2200W ±150 W

**Realizado por:** Los Autores.

### 5.1.7 Dimensionamiento De Conductores

Para establecer los conductores se debe prestar especial atención a las caídas de voltaje que se producen debido al efecto Joule. Además, se deben dimensionar para que puedan soportar el 125% del valor de corriente que circule a través de ellos.

Las caídas de tensión del sistema fotovoltaico no deben sobrepasar los valores establecidos en la tabla 12 para cada tramo que conforman los equipos.

**Tabla 12** Porcentajes de Caída Voltaje en Conductores

$\Delta V$	$\% \Delta V$
Línea: Generador-Regulador	< 3%
Línea: Batería-Regulador	< 1%
Línea: Regulador-Cargas	< 5%
Línea: Batería-Inversor	< 1%

**Realizado por:** Los Autores.

### 5.1.7.1 Cálculo del Calibre del Conductor en Función de la Caída de Voltaje

La caída de voltaje de un conductor está en función del valor de su resistencia interna ( $R_c$ ) y del valor máximo de corriente ( $I_c$ ) que puede atravesar por su sección, de esta manera su valor se calcula como se indica a continuación, en donde se aplica las ecuaciones 11, 12, y 13 respectivamente.

### 5.1.7.2 Cálculo de la Sección Transversal del Conductor

#### Línea Generador-Regulador (G-R)

Se debe considerar que la corriente máxima que circulará por este tramo, será la corriente de cortocircuito de los paneles fotovoltaicos. Se establece que la corriente de cortocircuito de los módulos es de  $I_{CC} = 9.00A$ , de esta manera la corriente máxima que entregaran el conjunto de los 5 módulos será:

$$I_C = 9 * 5 = 45A$$

$$\Delta V = 12 \frac{3\%}{100} = 0.36 V_{cc}$$

$$I_{m\acute{a}x} [A] = 1.25 * I_C = 1.25 * 45 = 56.25$$

$$S = \frac{0.017 * 3 * 22.5}{0.36} = 7.97 \text{ mm}^2 \longrightarrow \text{Calibre \#8 AWG flexible}$$

#### Línea Batería-Regulador (B-R)

Para establecer la máxima corriente que circulara por este tramo, se considera la máxima corriente de descarga de las baterías la cual es 100Ah. De esta manera tenemos:

$$I_{CBaterias} = 100Ah$$

$$\Delta V = 12 \frac{1\%}{100} = 0.12V_{cc}$$

$$I_{\text{máx}} [\text{A}] = 1.25 * I_C = 1.25 * 100 = 125 \text{ A}$$

$$S = \frac{0.017 * 0.7 * 125}{0.12} = 12.40 \text{ mm}^2 \longrightarrow \text{Calibre \#6 AWG flexible}$$

### Línea de Batería-Inversor (B-Inv)

Se considera que el inversor se ubicará a una distancia de 2m del banco de baterías, por tanto la corriente máxima que circulará en este tramo se establece de la siguiente manera:

$$I_C = \frac{P_{Inv}}{V_{CA}} = \frac{2000}{110} = 18.18 \text{ A}$$

$$\Delta V = 12 \frac{1\%}{100} = 0.12V_{cc}$$

$$I_{\text{máx}} [\text{A}] = 1.25 * I_C = 1.25 * 18.18 = 22.73 \text{ A}$$

$$S = \frac{0.017 * 2 * 22.73}{0.12} = 6.44 \text{ mm}^2 \longrightarrow \text{Calibre \#8 AWG flexible}$$

En la tabla 13 que se muestra a continuación, se indican los resultados obtenidos para cada tramo de línea del sistema fotovoltaico, considerando las caídas de voltaje establecidas.

**Tabla 13** Resultados de los tramos de cada línea del sistema fotovoltaico

Tramo de Línea	Longitud del conductor (m)	$\Delta V$ (%)	$\Delta V$ (V)	$\rho_{Cu}$	$I_C$ (A)	$I_{\text{Máx}}$ (A)	S (mm <sup>2</sup> )	Calibre (AWG)
(G-R)	3	3	0.36	0.17	45	56.25	7.97	8
(B-R)	2.5	1	0.12	0.17	100	125	12.40	6
(B-Inv)	2	1	0.12	0.17	18.18	22.73	6.44	8

En la tabla 14 se detallan las características de los conductores utilizados en cada uno de los tramos que conectan los diferentes equipos del sistema fotovoltaico.

**Tabla 14** Características de los conductores

Tramo de Línea	Calibre	Longitud (m)	Sección (mm <sup>2</sup> )	$I_{\text{máx}}$ del conductor a 75°C
Generador-Regulador	8 AWG	3	13,30	45 A
Batería-Regulador	8 AWG	2.5	13,30	45 A
Batería-Inversor	8 AWG	2	13,30	45 A

### 5.1.7.3 Cálculo de Caídas de Tensión y Pérdidas

Para determinar la caída de tensión se utilizará la ecuación 11 y el porcentaje de esta respecto a la tensión nominal mediante la ecuación 12. Las pérdidas existentes en los conductores debido al efecto Joule se determina a través de la siguiente ecuación 14 y 15 respectivamente:

#### Línea Generador-Regulador

Se considera que el valor de corriente máxima que circulará por este tramo es la corriente de cortocircuito del conjunto de paneles fotovoltaicos, la cual tiene un valor de 45A. También se debe considerar las características de los conductores indicados en la tabla 14, con lo cual se obtienen los siguientes resultados.

$$R_{C\ G-R} = \frac{0.017 \cdot 3}{7.97} = 0.0064 \ \Omega$$

$$\Delta V_{G-R} = 0.0064 \cdot 45 = 0.288 \text{ Vcc}$$

$$(\%) \Delta V_{G-R} = \frac{100 \cdot 0.288}{12} = 2.4\%$$

$$P_C [\text{W}] = I_{\text{máx}}^2 \cdot R_C$$

$$P_C [\text{W}] = 45^2 \cdot 0.0064 = 12.96 \text{ W}$$

$$E_P = P_C \cdot T_{\text{uso}}$$

$$E_P = 12.96 \cdot 8 = 103.68 \text{ Wh/día}$$

#### Línea Batería-Regulador

Para determinar las pérdidas que existen en este tramo se debe considerar las características del conductor y el valor de corriente máxima que a traviesa por esa sección la cual tiene un valor de 100 Ah, de esta manera se obtienen los siguientes resultados:

$$R_{C\ G-R} = \frac{0.017 \cdot 2.5}{12.40} = 0.0034 \ \Omega$$

$$\Delta V_{G-R} = 0.0034 \cdot 100 = 0.34 \text{ Vcc}$$

$$(\%) \Delta V_{G-R} = \frac{100 \cdot 0.34}{12} = 2.83 \%$$

$$P_C[\text{W}] = 100^2 * 0.0034 = 34 \text{ W}$$

$$E_P = 34 * 8 = 272 \text{ Wh/día}$$

### **Línea Batería Inversor**

Para determinar las pérdidas que existen en este tramo se debe considerar las características del conductor y el valor de corriente máxima que es 18.18A, de esta manera se obtienen los siguientes resultados:

$$R_{C\ G-R} = \frac{0.017 * 2}{6.44} = 0.0053 \Omega$$

$$\Delta V_{G-R} = 0.0053 * 18.18 = 0.096 \text{ Vcc}$$

$$(\%) \Delta V_{G-R} = \frac{100 * 0.096}{12} = 0.8\%$$

$$P_C[\text{W}] = 18.18^2 * 0.0053 = 1.75 \text{ W}$$

$$E_P = 1.75 * 24 = 42.04 \text{ Wh/día}$$

### **5.1.8 Dimensionamiento de las Protecciones**

Los circuitos deben contar con protecciones como fusibles o breakers que sean capaces de soportar el 125% de la corriente nominal de trabajo ( $I_{\text{Carga}}$ ), de tal forma que se mantenga la siguiente relación:

$$I_{\text{Carga}} < I_{\text{Protección}} < I_{\text{Conductor}}$$

#### **5.1.8.1 Cálculo del fusible de protección:**

Para calcular la capacidad del fusible es necesario determinar la corriente máxima de trabajo que circulará por el circuito, de esta manera el fusible debe ser capaz de soportar el 125% de la máxima corriente que circule por el circuito que va a proteger.

$$I_{\text{Fusible}} = 1.25 * I_{\text{máx de trabajo}}$$

En caso de contar con cargas como motores eléctricos que elevan el nivel de corriente durante el arranque, la protección se debe dimensionar para que pueda soportar dicha corriente, considerando que ésta no debe estar demasiado ajustada a las condiciones de trabajo ni sobredimensionada para

que pueda actuar de manera correcta en la protección del circuito, ya que cuando la corriente sobrepasa el valor de la corriente de diseño del fusible, éste se funde en cuestión de segundos, entonces:

$$I_{\text{Fusible}} = 2 * I_{\text{Nominal-Fusible}} > I_{\text{Arranque}}$$

## 5.2 Conexión e implementación de los Equipos

### 5.2.1 Ubicación de los Paneles Solares

Con la finalidad de lograr una mayor captación de energía solar y evitar que se acumulen en los paneles fotovoltaicos polvo, basura o cualquier otra sustancia que pueda causar obstrucción en la captación de la radiación solar, se colaron los módulos fotovoltaicos en el techo del laboratorio de granos andinos. Otro motivo por el cual se eligió este lugar es debido a que está libre de sombras que puedan disminuir el rendimiento de los paneles en la conversión de energía solar a energía eléctrica.



**Fig. 19** Ubicación de los Paneles Solares

### 5.2.2 Arreglo Fotovoltaico

Como las características de las baterías utilizadas son de 12 Vcc y 100Ah, los paneles fotovoltaicos se conectarán en paralelo con la finalidad de mantener el voltaje constante de 12 voltios y sumar las corrientes, a fin de acelerar el proceso de carga de las baterías.

De manera detallada la conexión de los paneles se realizó de la siguiente manera:

1. Se mide el cable que se requiere para conectar los paneles
2. Retiramos la tapa de la caja de conexiones del panel fotovoltaico.

3. Identificamos el polo positivo y negativo.
4. Se ajustan los conductores a los contactos definidos
5. Se cierra la caja de conexiones
6. Se conectan los polos de signos iguales entre paneles diferentes
7. De las salidas de los paneles conectados en paralelo se mide la distancia hasta el regulador de carga, para realizar la conexión entre estos dos dispositivos.

### 5.2.3 Conexión del Regulador de Carga y el Banco de Paneles Solares

El regulador de carga está programado para proteger las baterías de los sobre voltajes que pueden generar los paneles fotovoltaicos durante el proceso de carga de las mismas.

La conexión entre el regulador de carga y los paneles fotovoltaicos se realizó de la siguiente manera:

1. Se monta el regulador de carga a la pared.
2. Se retira la tapa de acceso sacando los 4 tornillos.
3. Ajuste los interruptores DIP:
  - ✚ Para elegir el modo de control de carga solar de la batería, el interruptor DIP #1 debe estar apagado.
4. Conecte los sensores de voltaje de la batería.
5. Conecte los terminales de los paneles fotovoltaicos en los terminales del regulador que se encuentran en la segunda posición, respetando la polaridad indicada.



**Fig. 20** Conexión del Regulador de Carga y el Banco de Paneles Solares

#### 5.2.4 Conexión del Banco de Baterías

Los circuitos eléctricos de la mayoría de los hogares se encuentran conectados en paralelo, ya que dicha conexión permite que la corriente siga fluyendo, aunque falle cualquier dispositivo conectado al mismo. La característica de este tipo de conexión es que mientras más equipos se desee alimentar, más corriente requiere el sistema, pero sus ramificaciones mantienen el voltaje constante. Por tal motivo y con la finalidad de abastecer a la mayoría de las cargas del laboratorio e invernadero de Granos Andinos del Campus Salache, las baterías se conectaron en paralelo.

A continuación, se detalla el procedimiento de montaje y conexión:

1. Para garantizar el buen funcionamiento de las baterías se deben colar estas de tal manera que se pueda evitar el polvo o la humedad.
2. Confirme las polaridades de las baterías.
3. Con ayuda de conductores y terminales de ojo conectar las baterías ubicando solo las borneras de igual polaridad.



**Fig. 21** Conexión del Banco de Baterías

#### 5.2.5 Conexión entre Banco de Baterías y el Regulador de Carga

A más del control de voltaje el regulador de carga también regula el nivel de descarga de las baterías con la finalidad de mantener los niveles del electrolito en sus valores óptimos.

A continuación, se detalla el procedimiento de conexión:

1. Identifique los polos de los terminales de las baterías.

2. Identifique los polos de los terminales del regulador de carga.
3. Conecte el conductor con polaridad positiva de la batería al primer conector de polaridad positiva del regulado de carga.
4. Repita el procedimiento anterior para los terminales de polaridad negativa.



**Fig. 22** Conexión entre Banco de Baterías y el Regulador de Carga

### **5.2.6 Conexión entre el Banco de Baterías y el Inversor**

Debido a la existencia de cargas que requieren ser alimentadas con corriente alterna, es necesario disponer de un equipo que permita convertir la onda de corriente continua proveniente del banco de baterías en una onda de corriente alterna.

Las características del inversor utilizado indican que protege al banco de baterías de las cargas excesivas de voltaje.

A continuación, se detalla el procedimiento de conexión:

1. Identifique los terminales tanto del banco de baterías como del inversor.
2. Conecte el terminal de polo positivo de la batería en terminal de polo positivo del inversor.
3. Conecte el terminal de polo negativo de la batería en terminal de polo negativo del inversor.



**Fig. 23** Conexión entre el Banco de Baterías y el Inversor

### **5.2.7 Conexión de las Salidas del Inversor con el Tablero de Transferencia de Energía**

Se consideró un sistema de transferencia de energía debido a la existencia de cargas eléctricas tanto en el invernadero como en el laboratorio de Granos Andinos que requieren del suministro continuo de energía para realizar sus funciones con normalidad, ya que, el sistema de generación solar como la energía suministrada por la empresa eléctrica son susceptibles a fallas por condiciones atmosféricas o debido a una mala operación de algún componente de su sistema.

Detalles de conexión:

1. Se instala el tablero en el lugar determinado.
2. Se implementan los contactos y el selector de carga en el tablero.
3. Se realiza la conexión bay-pass entre los contactos



**Fig. 24** Conexión de las Salidas del Inversor con el Tablero de Transferencia de Energía

### **5.3 Sistema de puesta a Tierra**

Debido al costo que representan los equipos del sistema de generación fotovoltaico y su importancia, se considera un sistema de protección a tierra que protege dichos equipos de las descargas atmosféricas o de sobre voltajes que pueden dañar los equipos

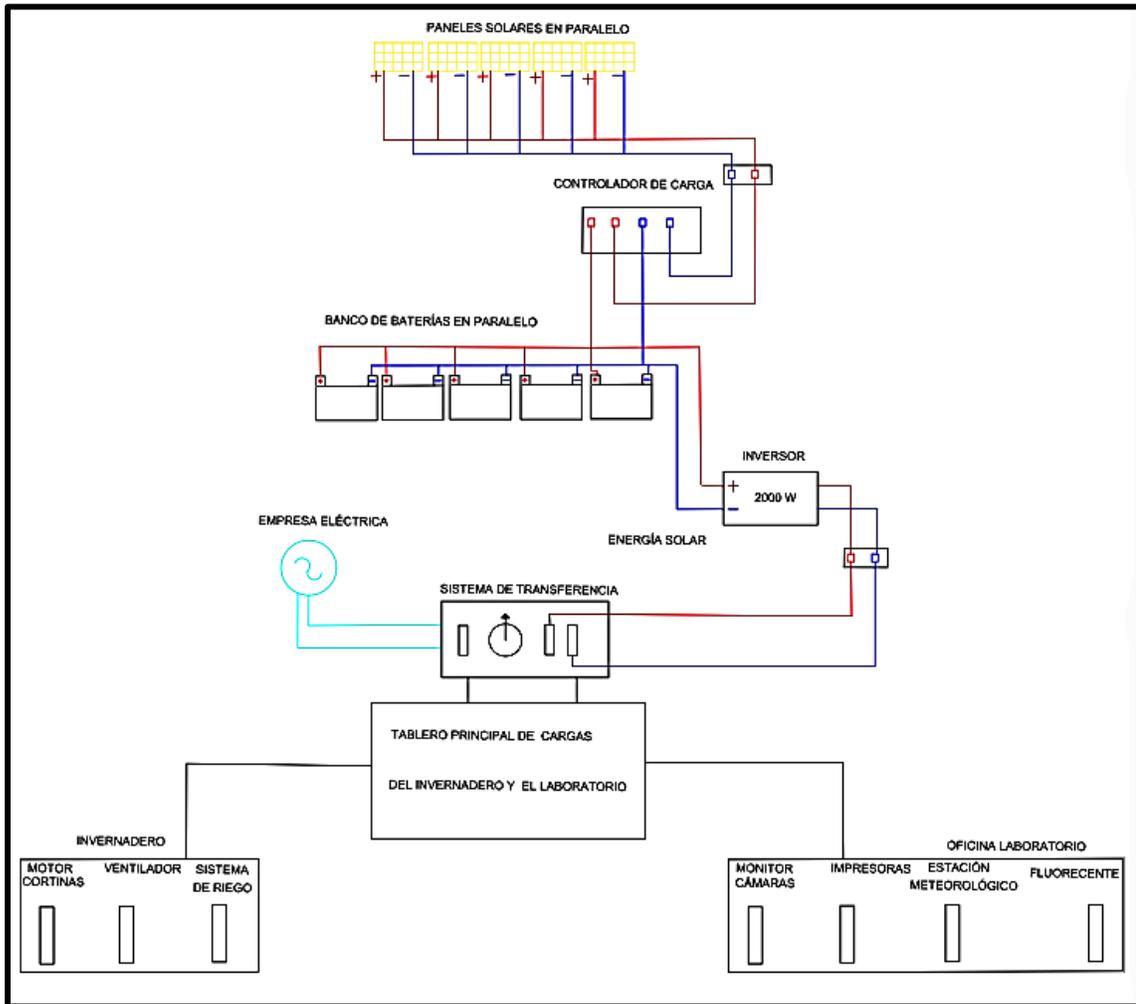
Preparación del terreno y conexión a tierra de los equipos:

1. Se realiza una excavación en el suelo considerando la longitud de la varilla Coperweld.
2. Se prepara el terreno con carbón y sal.
3. Se entierra la varilla Coperweld.
4. Se realiza la conexión del conductor y la puesta a tierra por medio de un conector.



**Fig. 25** Sistema de puesta a Tierra

## 5.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACION FOTOVOLTAICO (HIBRIDO)



**Fig. 26** Diagrama general de todo el sistema de generación fotovoltaico.

La generación del sistema fotovoltaico se lo realiza mediante 5 paneles solares de acuerdo cálculo de la capacidad de las baterías, estos paneles solares están conectados en paralelo para mantener un suministro de corriente constante en el banco de baterías; posteriormente esta energía generada se transfiere a un controlador de carga, el cual permite monitorear el estado de carga y descarga de las mismas, por tal motivo se instaló un sistema HMDI para visualizar los parámetros ya que el dispositivo tiene opciones de salidas de touch, luego de las cargas controladas se dirige a un inversor debido a que las cargas que se debe satisfacer son de corriente alterna.

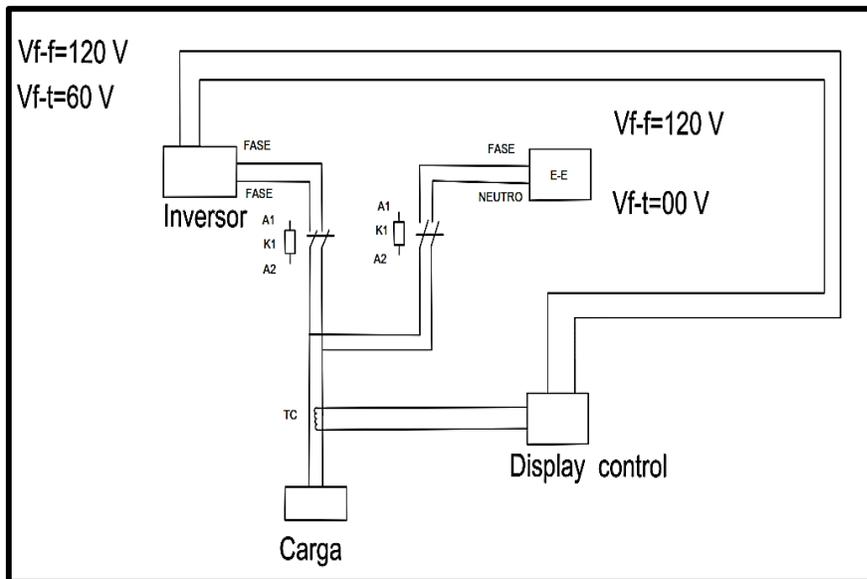
El inversor tiene potencia de 2000 W para trabajo continuo, a partir de ahí se establece dos sistemas: Un Sistema de puesta a tierra y el otro consiste en una acometida exclusiva que lleva la

energía solar generado y convertida a energía de corriente alterna a un tablero de transferencia, el voltaje generado por el sistema solar es 120 V (F-F), estas condiciones son propias del inversor.

El tablero de transferencia permite hacer la convergencia de forma manual, permitiendo elegir el sistema Solar o la Red de la Empresa Eléctrica a través de una clavija mecánica, la misma, que impide que los dos sistemas en algún momento puedan ingresar a la vez, ya que si esto sucede podría ocasionar un problema de condición anormal del funcionamiento del sistema; de esta manera, el usuario puede escoger para satisfacer la carga con energía solar o con la energía de la Empresa Eléctrica, constituyéndose de esta manera en un sistema híbrido de suministro de energía.

### 5.5 Planos de circuito de fuerza y de control del sistema

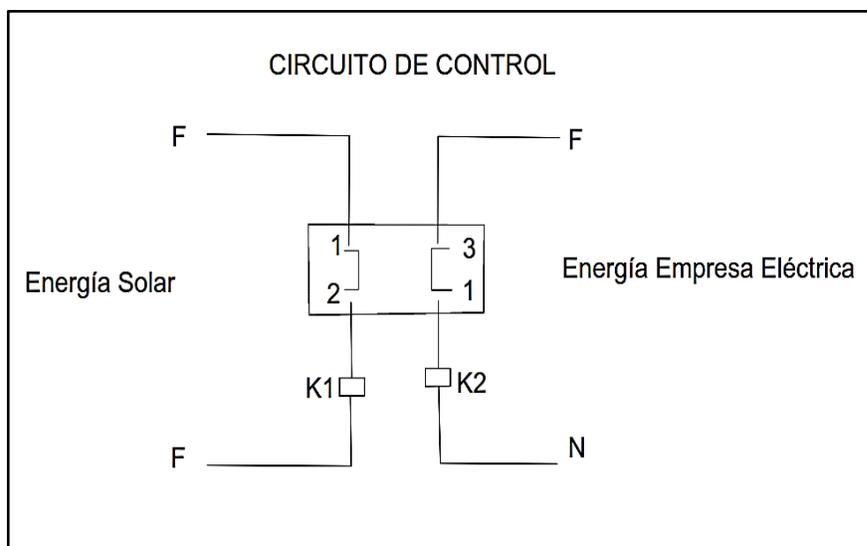
En la figura 27 se puede observar un circuito de fuerza en que se presentan dos sistemas; un sistema pertenece a la energía proporcionada por la empresa eléctrica, la cual es de 120V f-n, mientras que el otro sistema pertenece a la energía solar, el mismo que presenta 120V f-f debido a las características del inversor utilizado.



**Fig. 27** Circuito de Fuerza del Sistema Fotovoltaico.

El circuito de control de la figura 28 permite seleccionar el tipo de energía que se va consumir dependiendo de las condiciones de los sistemas de energía solar y de la empresa eléctrica para alimentar las cargas del invernadero y laboratorio de granos andinos del campus Salache, el cual

permite elegir mediante un selector de clavija mecánica la energía que el usuario crea conveniente utilizar.



**Fig. 28** Circuito de Control del Sistema Fotovoltaico

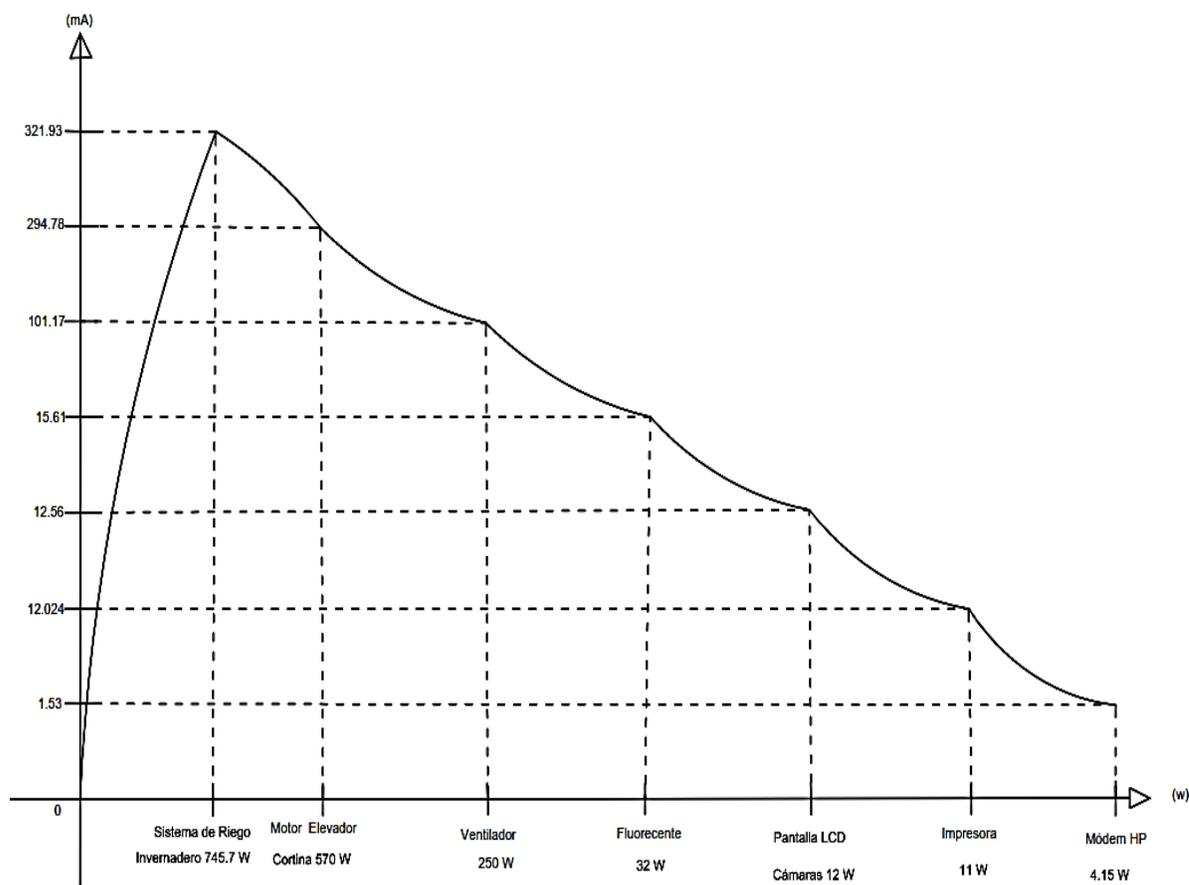
## 5.6 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR CON LAS CARGAS.

Luego de realizar el dimensionamiento y la puesta en servicio del sistema fotovoltaico se ejecutaron pruebas con las diferentes cargas ya establecidas, estas pruebas se lo realizan para analizar el comportamiento del sistema tomando como referencia los datos de corriente y voltaje que se miden a través del contador de energía en la cual se visualiza datos reales durante el funcionamiento del sistema con carga.

**Tabla 15** Valores de Corriente consumido de las Cargas

<b>CARGA EN (W)</b>	<b>CORRIENTE CONSUMIDA (mA)</b>
Sistema de Riego (745.7)	321.93
Motores Elevadores de Cortina (570)	294.78
Ventilador (250)	101.17
Fluorescente (32)	15.61
Pantalla LCD Cámaras (12)	12.56
Impresora (11)	12.024
Modem (4.15)	1.53

De acuerdo a las pruebas realizadas con cada una de las cargas, la carga que consume mayor corriente es el sistema de riego del invernadero puesto que la medición visualizada es 321.93 mA, esto es debido a que tiene un pico de arranque muy alto la bomba de agua que es el equipo del sistema de riego, posteriormente los dos motores elevadores de las cortinas del invernadero tienen un consumo de 294.78 mA, de igual forma tiene una corriente de arranque importante, y de manera similar el ventilador consume 101.17 mA, y las demás cargas son de poco consumo como se puede observar en la tabla anterior y en el gráfico 29 de la curva.



**Fig. 29** Curva de comportamiento del Sistema Fotovoltaico con diferentes cargas

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

### 6.1 Impactos

El presente proyecto tiene como finalidad contribuir al uso de energías limpias y renovables, motivar a las autoridades a incentivar la instalación de este tipo de tecnologías, buscar alternativas que ayuden a reducir el uso de combustibles fósiles que contaminan el medio. Aprovechar el

recurso energético proveniente del sol, motivar a personas o grupos para que instalen este tipo de tecnologías, y por ultimo aportar con el desarrollo y uso de energías limpias y renovables influyendo.

### **Impacto económico.**

El valor de energía eléctrica que se ahorra con la aplicación del proyecto, asciende a \$4,32 mensuales, lo que produce en un año el valor de \$51,90. Mientras que si se aprovechara el total de la energía por los 5 módulos fotovoltaicos el ahorro mensual sería de \$ 7,56 y una energía anual de \$ 90,72. De ambos casos el ahorro no es suficiente para hacer rentable el proyecto por lo que se plante encontrar el costo del kWh para que este tipo de tecnología sea rentable y más personas puedan acceder a ellas.

Datos:

Energía generada día: 2805 Wh/día.

Ahorro de Energía: 1602.25 Wh/día.

Días: 30

KWh: 0.09 USD

$$1602.25 \frac{Wh}{dia} * 30 dia * \frac{1Kwh}{1000Wh} = 48.06 \frac{Kwh}{mes} =$$

$$48.06 \frac{Kwh}{mes} * 12 meses = 576,72 \frac{Kwh}{año}$$

Costo de energía

$$48.06 \frac{Kwh}{mes} * \frac{0.09 USD}{1 Kwh} = 4.32 USD/mes$$

$$576,72 \frac{Kwh}{año} * \frac{0.09 USD}{1 Kwh} = 51.90 USD/año$$

### **Inversión del proyecto.**

La tabla 16 muestra el detalle de inversión del proyecto misma que asciende a \$ 4.402,20, se estima una vida útil de 12 años.

**Tabla 16** Egresos del Proyecto.

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Precio total (\$)</b>
CAJETIN METAL REDONDO	\$ 2,69
CAJETIN DEXON VETO	\$ 2,19
TOMACO FALCON DOBLE POLARI+PLACA	\$ 1,96
TAPA CIEGA REDONDA GRANDE METAL	\$ 3,45
CABLE 3x12 SUCRE	\$ 1,61
Placa Tapa Acrílico	\$ 13,75
Prensa Estopa	\$ 1,14
Amarras GS	\$ 4,03
Toma Doble de UPS a PLC	\$ 2,88
Contactores	\$ 158,70
Elementos tablero, selector, luces, riel din, conectores glb	\$ 76,68
Autofundente	\$ 1,73
Terminal de ojo para batería	\$ 23,00
Cinta de etiquetado	\$ 9,61
Cable # 8 negro	\$ 42,12
Cable #8 blanco	\$ 31,59
Cable # 16 flexible	\$ 3,24
Cable # 12 negro	\$ 16,80
Cable # 12 verde	\$ 0,84
Controlador de carga	\$ 400,00
Varilla de Puesta A tierra	\$ 5,20
Conectores varilla	\$ 2,25
Abrazaderas emt 3/4	\$ 0,91
Manguera anillada 1/2"	\$ 6,69

Abrazaderas emt 1/2"	\$ 0,91
Manguera Anillada metálica 3/4	\$ 17,50
Manguera Anillada Metálica 1/2	\$ 8,25
Tornillos	\$ 1,20
Terminales Talones	\$ 3,00
Cable batería	\$ 16,75
Conectores 3/4	\$ 4,70
Conectores 1/2	\$ 2,00
Braker Riel Din 20A	\$ 8,00
Barra de tierra	\$ 1,00
Base para fusible 10x38	\$ 4,21
fusible cerámico 10x38 tipo GG	\$ 1,08
Riel Din	\$ 0,20
Taipe	\$ 0,89
Ensamblaje Tablero de transferencia	\$ 100,00
Cable de batería u 5	\$ 19,45
Mano de Obra	\$ 500,00
Paneles Solares	\$ 650,00
Baterías	\$ 2.000,00
UPS	\$ 250,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4.402,20</b>

## 6.2 Análisis de la inversión y recuperación

Para realizar este cálculo es importante conocer la tasa de descuento que en nuestro caso es determinado por el Banco Central del Ecuador y es el 4,56%; además debemos tomar en consideración las siguientes consideraciones:

Datos referenciales del costo de la tarifa eléctrica para este tipo de tecnologías que es de \$ 0.09; y también el ahorro energético que tendremos con la implementación de este tipo de tecnología la cual es \$ 51,90 anuales; se establece que el proyecto no es rentable económicamente, por lo tanto

se establece el costo del kWh a \$ 0,60 para que el proyecto sea rentable obteniendo de esta manera un ahorro de \$ 604,80. Además se contempla el uso de toda la energía generada con el precio de la tarifa normal que con la cual se obtiene un ahorro de \$ 90,72 al año pero de igual manera el proyecto no es rentable dentro de vida útil que es de 12 años. La tabla 17 muestra el flujo de efectivo con la tarifa ideal para que este tipo de tecnologías sean rentables.

**Tabla 17** Flujo de caja del Proyecto

AÑO	PRECIO DE LA ENERGIA	AHORRO DE LA ENERGIA	BENEFICIO ANUAL BRUTO	FLUJO DE CAJA	VAN	SALDO
N	0,6	KWh/AÑO	INGRESO POR AHORRO DE ENERGIA \$	\$	4,56%	
1	0,6	1008,00	604,80	604,80	578,42	-3823,78
2	0,6	1008,00	604,80	604,80	553,20	-3270,58
3	0,6	1008,00	604,80	604,80	529,07	-2741,51
4	0,6	1008,00	604,80	604,80	506,00	-2235,51
5	0,6	1008,00	604,80	604,80	483,93	-1751,58
6	0,6	1008,00	604,80	604,80	462,83	-1288,75
7	0,6	1008,00	604,80	604,80	442,64	-846,11
8	0,6	1008,00	604,80	604,80	423,34	-422,77
9	0,6	1008,00	604,80	604,80	404,88	-17,89
10	0,6	1008,00	604,80	604,80	387,22	369,33
11	0,6	1008,00	604,80	604,80	370,33	739,66
12	0,6	1008,00	604,80	604,80	354,18	1093,84
					\$	6.468,61
<b>AÑOS</b>		<b>12</b>	<b>12</b>	<b>10</b>		
<b>ENERGÍA ANUAL</b>		576,72 kWh/año	1008 kWh/año	1008 kWh/año	Inversión inicial	\$ 4.402,20
<b>TAZA DE DESCUENTO</b>		4,56%	4,56%	4,56%	VAN	\$ 1093,84
<b>INVERSION</b>		\$ 4.402,20	\$ 4.402,20	\$ 4.402,20	TIR	25%
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>		\$ 51,90	\$ 90,72	\$ 604,80		
<b>VAN</b>		\$ (3.930,52)	\$ (3.577,79)	\$ 1.093,84		
<b>TIR</b>		-89%	-81%	25%		

El proyecto sería rentable técnica y económicamente siempre y cuando el costo del kWh fuese de \$ 0,60 dólares, obteniendo una recuperación en el año 10, con un TIR de 25% y un VAN de \$ 1093,84.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **7.1 Conclusiones**

- De acuerdo los datos obtenidos de la NASA de los niveles de radiación del Campus Salache cuenta con  $4.40 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , determinando así que tiene un valor de radiación favorable ya que permite un buen proceso de carga del banco de baterías a través de los paneles solares.
- La energía diaria consumida por el Laboratorio e Invernadero de Granos Andinos con las cargas parciales es de  $1602.25 \text{ Wh/día}$ , con este valor de la energía se establece un grupo de cinco baterías de marca RITAR 12- 100Ah para cubrir 2 días de autonomía.
- Se estableció el número de cinco paneles solares de marca SAKO DE 150 W, que tienen una configuración en paralelo para mantener el voltaje, la energía generada por el grupo de paneles solares es de  $2,80 \text{ kWh}$ , obteniendo una reserva de  $1,2 \text{ kWh}$ , puesto que la carga únicamente consume  $1,6 \text{ kWh}$ , esta reserva se puede emplear para alimentar otra carga.
- Se elige el regulador de carga de la marca TRISTAR de 60 A el cual es el elemento más importante del sistema de generación fotovoltaico por que mantiene estable los parámetros eléctricos entre el banco de baterías y los paneles solares.
- Con la implementación del sistema fotovoltaico el ahorro por mes es de  $\$ 4.32 \text{ USD}$ , que en el año sería  $\$ 51.90 \text{ USD}$ , estos valores representan la recuperación de la inversión económica del proyecto al precio del kWh  $\$0,09$  que es la tarifa general, con la cual el proyecto no es rentable, pero se determina el precio del kWh a  $\$0,60$ ; de este modo la recuperación de la inversión se la consigue en los 10 años, se obtiene un TIR de 25% y un VAN  $\$ 1093,84$ .

### **7.2 Recomendaciones**

- Los datos para el diseño se debe considerar de fuentes fiables en este caso se recomienda el uso de los valores de radiación proporcionados por la Nasa, pues de esta manera se realizara un diseño óptimo.
- Para la conexión en paralelo tomar en cuenta parámetros como la corriente inversa pues podría provocar daños en los paneles solares ya que estos se polarizan en inversa, para evitar este efecto es recomendable instalar diodos de bloqueo entre el panel solar y el regulador de carga.

- Después de la implementación total del sistema fotovoltaico es necesario hacer pruebas de funcionamiento y monitorear su comportamiento analizando valores de corriente, voltaje y frecuencia.
- Es recomendable la instalación de un sistema de transferencia manual en función de los días de autonomía y la forma de uso de la carga.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Autor, D. Boza, J. Rull, D. Convocat, and I. Ub-upc, “Proyecto de una instalación solar fotovoltaica de 2 , 793MW sobre cubierta depósitos de agua,” 2013.
- [2] S. R. Marcos, “Implementación de un sistema fotovoltaico para la alimentación de un edificio de usos.”
- [3] M. de medio ambiente y medio rural y marino España, “Calor y temperatura.”
- [4] N. N. O. Renovables, F. Alexander, and S. Ludeña, “Universidad nacional de loja.”
- [5] O. H. O. I. (UNIVERSIDAD P. SALESIANA and S. QUITO), ““procedimiento técnico para la implementación de microcentrales eléctricas utilizando paneles fotovoltaicos.””
- [6] C. Orlando and R. Herrera, Estudio de factibilidad para la incorporacion de un sistema solar fotovoltaico en el edificio rtv ecuador. .
- [7] D. E. Caldas, A. Catherine, C. Duss, F. A. Gomez, and J. Hern, “Propuesta para el desarrollo de un proyecto fotovoltaico conectado a red en las instalaciones del hotel chicalá en la ciudad de neiva, huila,” 2016.
- [8] Caiza Llano Jose Eduardo( Politecnica Nacional), “Escuela politécnica nacional,” 2017.
- [9] G. Peralta and C. Alberto, “Diseño e implementación de un sistema de respaldo fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de logística del campamiento de la empresa telconet S.A. sede Guayaquil.,” 2016.
- [10] G. (Universidad N. A. y a D. U. GÁLIVIZ, “Proyecto Para La Implementación De Un Sistema De Generación Solar Fotovoltaica Para La Población Wayuu En Nazareth Corregimiento Del Municipio De Uribia, Departamento De La Guajira – Colombia.,” pp. 1–111, 2013.
- [11] ABB group, “Energía solar,” *ABB Rev.*, vol. 2, p. 76, 2015.
- [12] F. D. J. A. GARCES, “Sistemas Fotovoltaicos,” vol. 1, p. 123, 2016.
- [13] C. Agustin and S. German, “Instalaciones Solares Fotovoltaicas.” Colombia, p. 32, 2012.
- [14] J. Luis and M. Tarrillo, “Sistemas de almacenamiento de energia,” no. December, pp. 12–17, 2015.
- [15] J. Romero C., “Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró,” 2015.
- [16] N. E. D. E. L. A. E. T. S. E, “Departament o de ingeniería electrónica , eléctrica y

automática.”

- [17] A. P. Coord, *Cooperación desarrollo e . .*
- [18] E. Gonzalez, Zambrano, “Estudio, Diseño E Implementacion De Un Sistema De Energia Solar En La Comuna Puerto Roma De La Isla Mondragon Del Golfo De Guayaquil, Provincia Del Guayas.,” 2014.

# ANEXOS

