



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

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS  
PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE AUTOCONSUMO DE 500 W”**

Propuesta tecnológica previo a la obtención del Título de Ingenieros Electromecánicos.

**AUTORES:**

Coyachamin Chilibingua Jhonatan Alexander

Herrera Gordón Jonathan Javier

**TUTOR:**

Mgc. Ing. Moreano Martínez Edwin Homero

**LATACUNGA-ECUADOR**  
**2022**




## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Coyachamin Chilibuina Jhonatan Alexander y Herrera Gordón Jonathan Javier declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica **IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE AUTOCONSUMO DE 500W** siendo el Mgc. Ing. Moreano Martínez Edwin Homero tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, agosto 2022

  
\_\_\_\_\_  
Jhonatan Alexander Coyachamin Chilibuina  
CC: 0504573031

  
\_\_\_\_\_  
Jonathan Javier Herrera Gordón  
CC: 1805196647



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Propuesta Tecnológica sobre el título:

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE AUTOCONSUMO DE 500W, de Coyachamin Chilingua Jhonatan Alexander y Herrera Gordón Jonathan Javier**, de la carrera de **Ingeniería Electromecánica**, 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 Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2022

El Tutor

Mgc. Ing. Moreano Martínez Edwin Homero  
CC: 0502607500



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

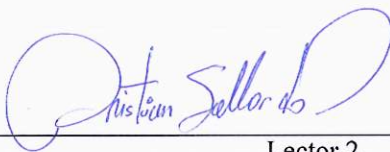
En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS** ; por cuanto, los postulantes: **Coyachamin Chilibingua Jhonatan Alexander** y **Herrera Gordón Jonathan Javier** con el título de Proyecto de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE AUTOCONSUMO DE 500W**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

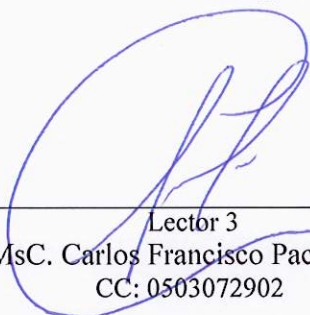
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2022

Para constancia firman:

  
Lector 1  
Ing. MsC. Luis Rolando Cruz Panchi  
CC: 0502595176

  
Lector 2  
Ing. MsC. Gallardo Molina Cristian Fabian

  
Lector 3  
Ing. MsC. Carlos Francisco Pacheco Mena  
CC: 0503072902

**AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**  
**CARRERA DE ELECTROMECÁNICA**



Latacunga, 05 de Agosto 2022

Quien suscribe, Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina. MSc., en calidad de Director de la carrera de Electromecánica, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, CERTIFICO que los Sres. Jonathan Javier Herrera Gordón y Jhonatan Alexander Coyachamin Chiliquina, realizaron en las instalaciones de la Facultad el proyecto tecnológico titulado: “IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE AUTOCONSUMO DE 500W”. En la ejecución de dicho proyecto los Sres. Demostraron habilidades y conocimientos en su especialidad; así también generaron resultados que les serán de gran utilidad al área electromecánica, por cuenta se enfocaron en solucionar problemas inherentes a las energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Durante el trabajo de campo los Sres. En mención se hicieron acreedores de nuestra confianza por la responsabilidad, honestidad y profesionalismo demostrado.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los interesados dar uso a este documento como estimen conveniente.

Atentamente;

**Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina**  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la sabiduría y fuerzas necesarias en momentos cuando más lo necesite.

Le doy gracias a mis Padres por el esfuerzo que realizaron para poder cumplir el sueño que tanto anhele y ellos también los anhelaron.

A los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi que día a día impartieron los conocimientos necesarios para formarme como persona y como profesional.

Agradezco a todas las personas que me dieron una palabra de aliento para seguir adelante.

**JHONATAN**

## **DEDICATORIA**

Dedico con alegría este objetivo a mis padres, Sr. Fabian Coyachamin y Sra Gloria Chiliquina por darme los estudios y dedicación que día a día me fueron brindando durante toda mi formación académica y a mi hermano Bryan Coyachamin por el apoyo incondicional.

A toda mi familia que siempre me dieron consejos y me apoyaron para ser una persona útil en la sociedad.

**JHONATAN**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a la Virgen del Cisne por brindarme sabiduría y entendimiento, a mis padres quienes han sido el pilar fundamental para poder culminar mi carrera profesional.

A mis Docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme transmitido conocimientos que han sido necesarios, en mi formación académica.

Han sido muchas personas que siempre me brindaron su apoyo y amistad siempre les seré eternamente agradecido.

**JONATHAN**



## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a las personas que día a día están conmigo en las lictudes de la vida, apoyándome y dándome fuerzas para seguir adelante.

A mi Dios todo poderoso y a las Virgen del Cisne, en quienes he depositado la mayor de mis confianzas, a mis amados padres, Sr. Augusto Herrera y Sra. Carmen Gordón.

A mi hermana la Ing. Mayra Herrera quien ha sido un ejemplo a seguir y un apoyo incondicional.

Gracias por ser parte de mi vida y por ser mi inspiración para lograr mi superación prefosionalmente.

**JONATHAN**

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUDITORIA.....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
DEDICATORIA .....	ix
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
AVAL DE TRADUCCIÓN .....	xvii
INFORMACIÓN GENERAL.....	1
1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.2 EL PROBLEMA .....	2
1.2.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2.2 Formulación del problema .....	2
1.2.3 Matriz causa-efecto .....	2
1.3 Beneficiarios .....	3
1.3.1 Beneficiarios directos.....	3
1.3.2 Beneficiarios indirectos.....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Objetivos .....	4
1.6.1 General .....	4
1.6.2 Específicos .....	4
1.7 Descripción de actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.....	4
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1 Antecedentes .....	6
2.2 Marco referencial .....	7
2.2.1 Sistema fotovoltaico.....	7
2.2.2 Sistemas fotovoltaicos en el país.....	7
2.2.3 Componentes de un sistema fotovoltaico.....	8
2.2.4 Panel solar .....	8
2.2.5 Panel solar SIMAX .....	9

2.2.6	Regulador de carga.....	9
2.2.7	Tipos de reguladores de carga .....	10
2.2.8	Controlador.....	11
2.2.9	Inversor.....	13
2.2.10	Tipos de inversores.....	14
2.2.11	Inversor Power Star W7 .....	14
2.2.12	Baterías para paneles solares .....	17
2.2.13	Aplicaciones de un sistema fotovoltaico .....	19
2.2.14	Protecciones eléctricas en un sistema fotovoltaico .....	20
2.2.15	Formas de conexión de un sistema fotovoltaico.....	22
2.2.16	Conductores eléctricos para paneles fotovoltaicos.....	24
2.2.17	Conectores MC4.....	26
2.2.18	Software ETAP 12.6 .....	27
3	DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	28
3.1	METODOLOGÍA .....	28
3.1.1	Cualitativa .....	28
3.1.2	Cuantitativa .....	28
3.1.3	Experimental .....	28
3.1.4	Técnicas.....	28
3.1.5	Instrumentos .....	28
3.1.6	Levantamiento de equipos disponibles.....	28
3.1.7	Diagrama de conexión de paneles solares .....	29
3.1.8	Dimensionamiento de protecciones para componentes del sistema fotovoltaico.....	29
3.1.9	Conductor para paneles fotovoltaicos .....	32
3.1.10	Selección de cable .....	33
3.1.11	Protecciones eléctricas contra sobrecarga en sistemas fotovoltaicos .....	33
3.1.12	Selección de software para el diagrama unifilar.....	34
3.1.13	Parámetros calculados en paneles fotovoltaicos.....	34
3.1.14	Parámetros de cálculo del regulador de carga .....	35
3.1.15	Cálculo de corriente a la entrada y salida del inversor .....	35
3.1.16	Cálculo de conductores para elementos del sistema fotovoltaico .....	36
3.1.17	Selección del conductor en un sistema fotovoltaico.....	36
3.1.18	Selección de protecciones para componentes de un sistema fotovoltaico.....	37
3.1.19	Diagrama de conexión.....	38
3.2	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	39
3.2.1	Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico .....	39
3.2.2	Simulación del diagrama del sistema fotovoltaico.....	39
3.2.3	Estudio de coordinación de protecciones .....	42
3.2.4	Implementación de protecciones .....	45

3.2.5	Resumen de protecciones seleccionadas .....	47
3.2.6	Análisis de costos para la implementación.....	48
4	Conclusiones y recomendaciones.....	49
4.1	Conclusiones .....	49
4.2	Recomendaciones.....	49
5	Bibliografía .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Descripción de actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.....	5
<b>Tabla 2. 1:</b> Características técnicas del panel solar SIMAX SP636-140 [9].....	9
<b>Tabla 2. 2:</b> Especificaciones técnicas del TriStar TS-60 [13].....	12
<b>Tabla 2. 3:</b> Especificaciones del inversor Power Star W7 [14].....	15
<b>Tabla 2. 4:</b> Especificaciones de salida del inversor [14].....	16
<b>Tabla 2. 5:</b> Especificaciones entradas inversor [14].....	16
<b>Tabla 3. 1:</b> Levantamiento de equipos disponibles .....	29
<b>Tabla 3. 2:</b> Cálculo de potencia, voltajes y corrientes en los paneles solares .....	35
<b>Tabla 3. 3:</b> Cálculo de voltaje y potencia generada en el regulador de carga. ....	35
<b>Tabla 3. 4:</b> Cálculo de corrientes en el inversor.....	36
<b>Tabla 3. 5:</b> Calibre de conductores AWG .....	36
<b>Tabla 3. 6:</b> Parámetros de selección para conductores.....	37
<b>Tabla 3. 7:</b> Parámetros de selección para protecciones.....	37
<b>Tabla 3. 8:</b> Protecciones utilizadas en el sistema fotovoltaico .....	47
<b>Tabla 3. 9:</b> Costos de materiales eléctricos .....	48
<b>Tabla 3. 10:</b> Costos de materiales eléctricos .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2. 1:</b> Primera planta fotovoltaica en Ecuador [8].....	8
<b>Figura 2. 2:</b> Funcionamiento de un panel solar mediante el efecto fotoeléctrico [6].....	8
<b>Figura 2. 3:</b> Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica [10].....	10
<b>Figura 2. 4:</b> Regulador BlueSolar VICTRON PWM [11] .....	10
<b>Figura 2. 5:</b> Controlador solar de tres funciones TriStar [13].....	11
<b>Figura 2. 6:</b> Controlador solar de tres funciones TriStar [13].....	12
<b>Figura 2. 7:</b> Ubicación de los terminales eléctricos [13].....	13
<b>Figura 2. 8:</b> Esquema del principio de un Inversor [14] .....	14
<b>Figura 2. 9:</b> Etapas de un inversor [14].....	14
<b>Figura 2. 10:</b> Inversor Power Star W7 [14].....	15
<b>Figura 2. 11:</b> Funcionamiento del inversor Power Star W7 [15] .....	17
<b>Figura 2. 12:</b> Elementos de una Batería de Plomo Acido [16].....	17
<b>Figura 2. 13:</b> Batería ácido-plomo de VRLA gel [17] .....	18
<b>Figura 2. 14:</b> Batería conectada en serie [17].....	18
<b>Figura 2. 15:</b> Esquema de un sistema fotovoltaico aislado [5] .....	19
<b>Figura 2. 16:</b> Conductor porta fusibles solar MC4FUS [20].....	20
<b>Figura 2. 17:</b> Seccionadores e interruptor termo magnético Vcc [20] .....	21
<b>Figura 2. 18:</b> Protector de descargas atmosféricas [21] .....	21
<b>Figura 2. 19:</b> Interruptor termodinámico Vca [22] .....	22
<b>Figura 2. 20:</b> Descargador Atmosférico [21] .....	22
<b>Figura 2. 21:</b> Conexión de paneles fotovoltaicos en paralelo [24] .....	23
<b>Figura 2. 22:</b> Conexión de paneles fotovoltaicos en serie [24] .....	23
<b>Figura 2. 23:</b> Conexión de paneles fotovoltaicos mixta [24] .....	24
<b>Figura 2. 24:</b> Alambre desnudo [25] .....	24
<b>Figura 2. 25:</b> Alambre aislado [25] .....	25
<b>Figura 2. 26:</b> Cable flexible [25].....	25
<b>Figura 2. 27:</b> Conductor de cordón [25].....	25
<b>Figura 2. 28:</b> Cable Solar Flex [26] .....	26
<b>Figura 2. 29:</b> Conector MC4 [27] .....	27
<b>Figura 2. 31:</b> Software ETAP 12.6 [28].....	27
<b>Figura 3. 1:</b> Diagrama de conexión.....	29
<b>Figura 3. 2:</b> Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico.....	38
<b>Figura 3. 3:</b> Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico .....	39
<b>Figura 3. 4:</b> Simulación de flujo de carga con paneles solares .....	40
<b>Figura 3. 5:</b> Simulación de corrientes de cortocircuito con paneles solares.....	41
<b>Figura 3. 6:</b> Simulación de flujo de carga con baterías.....	41
<b>Figura 3. 7:</b> Simulación de corrientes de cortocircuito con baterías .....	42
<b>Figura 3. 8:</b> Coordinación de todo el sistema fotovoltaico .....	43
<b>Figura 3. 9:</b> Coordinación de la parte fija .....	43
<b>Figura 3. 10:</b> Coordinación de la parte móvil .....	44
<b>Figura 3. 11:</b> Coordinación de la parte del inversor.....	44
<b>Figura 3. 12:</b> Coordinación de la parte de la batería .....	45
<b>Figura 3. 13:</b> Implementación de protecciones .....	45
<b>Figura 3. 14:</b> Armado de tablero de control .....	46
<b>Figura 3. 15:</b> Conexión del dispositivo M/TR-25 Acc X4.....	46
<b>Figura 3. 16:</b> Conexión del dispositivo Tri Star .....	47

## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

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

**TEMA:** “IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE AUTOCONSUMO DE 500W”.

**Autores:**

Coyachamin Chilibingua Jhonatan Alexander

Herrera Gordón Jonathan Javier

### **RESUMEN**

La propuesta tecnológica está encaminada a implementar un sistema que permita proteger al ser humano y aumentar la vida útil de los elementos y equipos del sistema fotovoltaico ya que necesitan tener una protección eléctrica porque pueden generar sobrecargas y cortocircuito debido a que puede ocasionando riesgos eléctricos por falta de protecciones del mismo, este sistema esta implementada en el laboratorio de energía renovables de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la ciudad de Latacunga, mediante la investigación de campo se realizó el levantamiento de información de las placas existen de cada uno de los equipos que conforma este sistema para determinar los valores de voltaje y corrientes que se generan en los mismos y aplicando la normativa vigente ARCONEL reglamento de protecciones nos permite dimensionar cada una de las protecciones de acuerdo a la capacidad de las magnitudes eléctricas. Cuyo dimensionamiento se basa en la potencia máxima de disipación de cada uno de los equipos que conforman el sistema fotovoltaico mismo que me permiten obtener las curvas características del sistema de protecciones.

**Palabras claves:**

Protección eléctrica, placas, magnitudes eléctricas, normativa vigente.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**THEME:** “IMPLEMENTATION OF THE ELECTRICAL PROTECTION SYSTEM FOR A 500W SELF-CONSUMPTION PHOTOVOLTAIC STATION”.

**Authors:**

Coyachamin Chilibingua Jhonatan Alexander

Herrera Gordón Jonathan Javier

**ABSTRACT**

The technological proposal is aimed at implementing a system to protect the human being and increase the life of the elements and equipment of the photovoltaic system as they need to have electrical protection because they can generate overloads and short circuit because it can cause electrical hazards due to lack of protection of the same, this system is implemented in the renewable energy laboratory of the Technical University of Cotopaxi in Latacunga city, by means of the field investigation the information of the plates of each one of the equipment that conforms this system was carried out to determine the values of voltage and currents that are generated in the same ones and applying the effective norm ARCONEL regulation of protections allows us to dimension each one of the protections according to the capacity of the electrical magnitudes. Whose sizing is based on the maximum power dissipation of each of the equipment that make up the photovoltaic system same that allow me to obtain the characteristic curves of the protection system.

**KEYWORDS:** Electrical protection, Plates, Electrical magnitudes, Current regulations.





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 al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE AUTOCONSUMO DE 500W”**, presentado por: **Coyachamin Chilibuina Jhonatan Alexander y Herrera Gordón Jonathan Javier** egresados de la Carrera de Electromecánica perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, 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 aval para los fines académicos legales.

Latacunga, septiembre del 2022

Atentamente,



**MSc. Alison Mena Barthelotty**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**  
**CI: 0501801252**



**CENTRO  
DE IDIOMAS**

## **INFORMACIÓN GENERAL**

**Título:** Implementación del sistema de protecciones eléctricas para una estación fotovoltaica de autoconsumo de 500w.

**Fecha de inicio:** Marzo 2022

**Fecha de finalización:** Agosto 2022

**Lugar de ejecución:** Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Electromecánica

**Proyecto de investigación vinculado:** No vinculado

### **Equipo de trabajo:**

#### **Tutor**

Nombres: Edwin Homero

Apellidos: Moreano Martínez

Cedula de identidad: 0502607500

Correo electrónico:

#### **Coordinador 1:**

Nombre: Coyachamin Chilibingua Jhonatan Alexander

Cédula de Ciudadanía: 0504573031

Correo electrónico:

#### **Coordinador 2:**

Nombre: Herrera Gordón Jonathan Javier

Cédula de Ciudadanía: 1805196647

Correo electrónico:

#### **Área de Conocimiento:**

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines

#### **Líneas de investigación:**

Líneas de Investigación: De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Línea 3. Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental. Desarrollo tecnológico e innovación.

#### **Sub línea de investigación:**

Energética en sistemas electromecánico y uso de fuentes renovables de energía.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.2 EL PROBLEMA

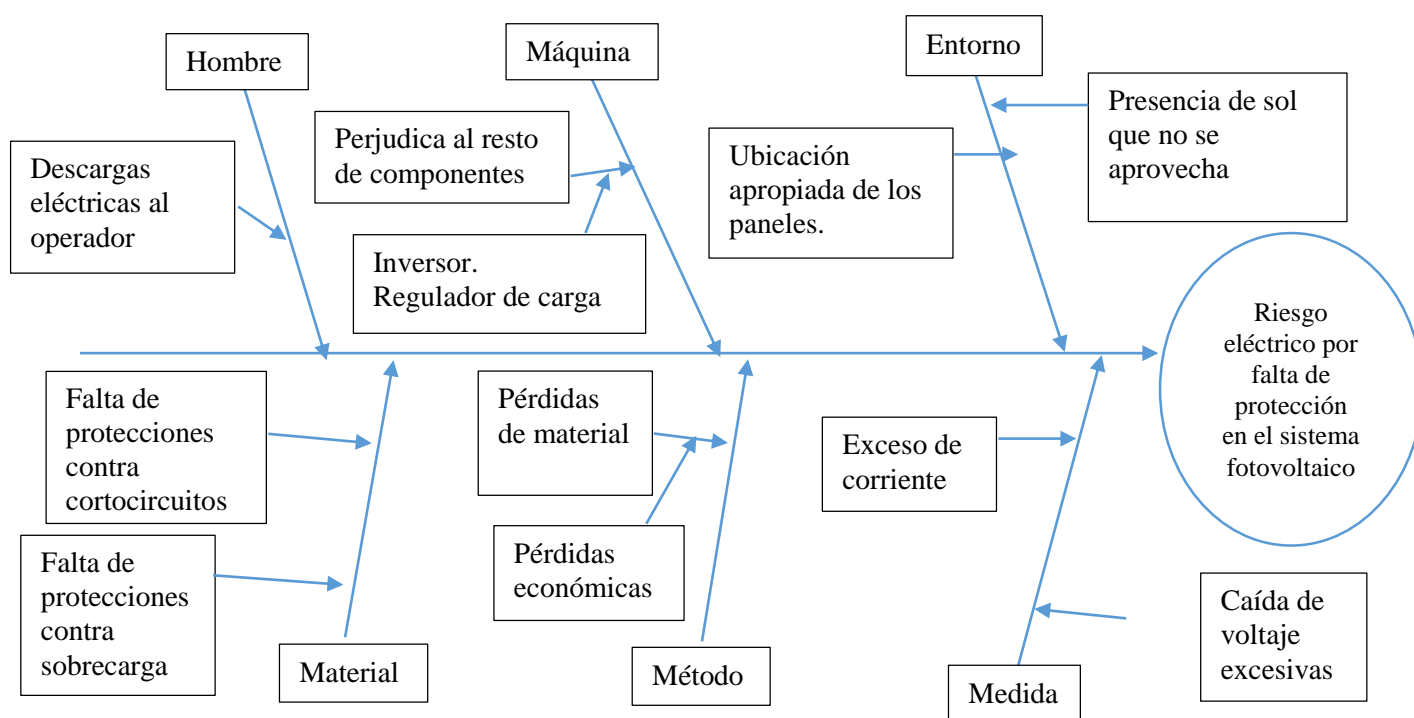
### 1.2.1 Planteamiento del problema

Uno de los principales problemas al momento de hacer la instalación del sistema fotovoltaico es la inasistencia de las protecciones eléctricas en sistema por lo que es necesario la instalación del mismo, actualmente en la Universidad Técnica de Cotopaxi existe una estación misma que dispone en total de 13 paneles, 10 con una potencia de 140 w y 3 de 150w, los cuales no cumplen con las protecciones necesaria al momento de realizar las practicas teniendo en cuenta que es una estación fotovoltaica de autoconsumo de 500 w. Además, mediante dicho estudio se realizará la elección de conductores y protecciones contra sobrecarga y cortocircuito.

### 1.2.2 Formulación del problema

Actualmente el sistema fotovoltaico de la Universidad no cuenta con protecciones contra sobrecargas y cortocircuito, por dicho motivo conlleva a tener riesgos eléctricos a futuro en el sistema.

### 1.2.3 Matriz causa-efecto



### **1.3 Beneficiarios**

#### **1.3.1 Beneficiarios directos**

Grupo de investigación de eficiencia energética.

#### **1.3.2 Beneficiarios indirectos**

Estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica.

### **1.4 Justificación**

Estados Unidos es el primer país del mundo en potencia fotovoltaica total instalada en 7,8 MW a finales de 1996. Tienen numerosos programas para el fomento de los SFRC promovidos por las administraciones federales y las compañías eléctricas. Las medidas adoptadas inician desde la subvención parcial de los sistemas fotovoltaicos hasta subvenciones a través de la tarificación [1].

Japón es el segundo país en cuanto a la potencia fotovoltaica instalada con 26 MW a finales de 1996, es hoy el primer inversor en SFRC. En 1994 el gobierno lanzó el Programa de los 70 000 tejados lo cual fue orientado a la subvención parcial SFRC en el sector doméstico. Por este contexto se instalaron 20 MW en el periodo de 1994-1997 y está planteado 37 MW con 9400 tejados, para el año 2000 con 400 MW y 4600 MW para el 2010 [1].

Australia entre los años 1992 y 1995 el gobierno implementó el Programa 200 KW de tejados fotovoltaicos lo cual ha sumado muchos edificios con programas propios de tarificación favorables a los SFRC [1].

Suiza tiene una capacidad instalada de 8,1 MW a finales de 1996, la administración federal la incrementó en el año 2008 hasta 50 MW. El programa de 1000 tejados fotovoltaicos ha supuesto la instalación de 3 MW en viviendas particulares. Holanda a finales del año 1996 existía 215 SFRC, con un total de 598 KW. El gobierno logró llegar a esta capacidad a través del Plan 250 MW en el año 2010 y aspira incrementar en 1000 MW para el 2020 [1].

España en el año de 1996 tuvo un total de 13 MW instalados. En México no hay una explotación adecuada del recurso solar, ya que la mayoría de la energía fotovoltaica está instalada en oficinas gubernamentales, escuelas y hospitales. La planta solar Aura 1 es el primer proyecto de gran escala que tiene el país con 39 MW [1].

Debido a la inexistencia de protecciones eléctricas, se puede generar diversos problemas para este caso haremos un estudio en un sistema fotovoltaico el cual nos permita implementar los diferentes componentes, los sistemas de protección eléctrica aíslan parte de la falla en el lugar

donde es administrado para limitar el daño que puedan evitar accidentes que atenten contra la seguridad de las personas, incendios y equipos eléctricos, por esta razón es necesario conocer la normativa vigente que nos permite evitar cualquier tipo de accidente.

## **1.5 Hipótesis**

La implementación de protecciones eléctricas en el sistema fotovoltaico permitirá disminuir el riesgo eléctrico.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 General**

Implementar el sistema de protecciones eléctricas para disminuir el riesgo eléctrico mediante la normativa vigente ARCONEL.

### **1.6.2 Específicos**

- Indagar diferentes citas bibliográficas referente al riesgo eléctrico aplicando la normativa vigente.
- Realizar el levantamiento de los equipos existentes en el laboratorio de energías renovables para realizar el dimensionamiento del sistema de protecciones.
- Seleccionar los elementos de protecciones necesarias mediante la normativa vigente.
- Comprobar su funcionamiento mediante la simulación de ETAP.

## **1.7 Descripción de actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos**

**Tabla 1:** Descripción de actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

Objetivos	Actividades	Resultados de la actividad	Descripción de la actividad
Indagar diferentes citas bibliográficas referente al riesgo eléctrico aplicando la normativa vigente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Indagar en libros y en la web sobre el diseño de protecciones para sistemas fotovoltaicos.</li> <li>-Revisión de trabajos precedentes acorde al tema del proyecto.</li> <li>-Investigar y analizar las diferentes protecciones para sobrecarga y cortocircuito.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Información sobre protecciones empleadas en paneles fotovoltaicos.</li> <li>-Parámetros de elementos de protección adecuadas.</li> <li>-Análisis de alternativas en cuanto a protecciones.</li> </ul>	-Investigación documental y de campo.
Realizar el levantamiento de los equipos existentes en el laboratorio de energías renovables para realizar el dimensionamiento del sistema de protecciones.	-Dimensionamiento de protecciones eléctricas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Identificación del área en donde se encontrará ubicado el tablero contenedor de protecciones.</li> <li>-Correcto dimensionamiento de protecciones eléctricas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación de campo y experimental.</li> <li>- Análisis matemático eléctrico</li> </ul>
Seleccionar los elementos de protecciones necesarias mediante la normativa vigente.	- Consultar diferentes catálogos de elementos de protección.	- Selección de la mejor protección para la aplicación de paneles fotovoltaicos.	- Selección del equipo mediante catálogo.
Comprobar su funcionamiento mediante la simulación de ETAP.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboración del diagrama unifilar en ETAP.</li> <li>-Análisis de simulación</li> </ul>	-Verificación del comportamiento del sistema fotovoltaico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de software.</li> <li>- Comprobación de resultados.</li> </ul>

## **2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1 Antecedentes**

De acuerdo a la revisión bibliográfica de diversos trabajos de titulación con relación al objeto de estudio a continuación se detallan diversas investigaciones, permitiendo orientar de mejor manera los siguientes capítulos en cuanto al tema propuesto.

El trabajo de titulación denominado “Diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica con potencia activa de 1 kW”, fue realizado por Angeliza Peña, Diego Gutiérrez y Frank Caldas, en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Cooperativa de Colombia. Este proyecto consiste realizar el diseño e implementación de planta para la ubicación de los paneles fotovoltaicos en las instalaciones del laboratorio de ingeniería civil además poner en funcionamiento un sistema solar fotovoltaico que permita la generación de energía eléctrica de 1 kW de potencia en las instalaciones del laboratorio de ingeniería civil de la universidad cooperativa Colombia lo cual permitirá evaluar el sistema de iluminación externa en las instalaciones [2].

Trabajo investigado por Grijalva Carlos y Vélez Félix, en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, cuyo tema es “Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias”. El proyecto consiste en la implementación de un sistema fotovoltaico mediante la utilización de paneles solares en la escuela “Dr. Francisco Falquez Ampuero”. Además, se realizó el diseño del sistema, partiendo de un análisis de carga para determinar el consumo eléctrico promedio de la institución, se seleccionó la mejor ubicación de los dispositivos bajo la premisa de la mayor recepción de energía solar posible, además se diseñó y ubico el banco de baterías y demás elementos requeridos para el funcionamiento de los paneles solares, y finalmente se realizaron distintas pruebas para verificar el correcto funcionamiento del sistema propuesto [3].

El trabajo de titulación denominado “Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la Universidad Tecnológica de Salamanca”, fue realizado por Humberto Ramos y Rafael Luna, en la carrera de Maestría en energías renovables de la Universidad Tecnológica de Salamanca. Este proyecto consiste en realizar un estudio energético, ya que los costos por los gastos de servicio eléctrico son caros, posterior a ello se realizará un estudio de factibilidad, tomando en cuenta que, los paneles solares no solventaron al 100% la demanda energética, sin embargo, si mitigará en gran medida el gasto por consumo, se realizará un estudio de radiación, con la ayuda de un equipo de medición de radiación marca Mac-Solar, gracias a este estudio obtendremos un dato exacto de la radiación específicamente

en la zona [4].

Del trabajo de titulación denominado “Estudio de la confiabilidad de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador y construcción de un generador solar a escala de energía eléctrica a 200 W”, fue realizado por Andrés Ceriz, en la carrera de Ingeniería en eléctrico mecánica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. El proyecto consiste en la implementación a escala para comprobar el funcionamiento del sistema fotovoltaico para generar energía, el mismo que será dotado a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Además, evaluar la confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos y aplicación de un generador solar de 200 W para generar energía eléctrica por medio de la luz solar, con la finalidad de poder iluminar un lugar donde no se cuenta con energía eléctrica directa (CONECEL) [5].

## **2.2 Marco referencial**

### **2.2.1 Sistema fotovoltaico**

Un sistema fotovoltaico permite la generación de energía mediante un medio renovable, usa como elemento principal el sol, específicamente los rayos solares. Un sistema fotovoltaico está constituido por un conjunto de componentes eléctricos construidos especialmente para ejecutar funciones elementales como: transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica, almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada, proveer energía producida y almacenada además utilizar eficientemente tanto la energía producida y almacenada [6].

La energía eléctrica que genera un sistema fotovoltaico dependerá del número de horas que el sol brille sobre un panel solar, también dependerá de los módulos instalados ya sea la orientación, inclinación, la radiación solar, calidad de instalación y potencia nominal [6].

### **2.2.2 Sistemas fotovoltaicos en el país**

Ecuador tiene una alta radiación solar y un gran potencial fotovoltaico. Ecuador se encuentra en una ubicación privilegiada respecto a recurso solar ya que es casi perpendicular a la radiación que recibe, invariable durante el año y con un ángulo de incidencia constante por lo cual son características que dan a la fotovoltaica un potencial enorme. [7]

La primera planta fotovoltaica en conectarse a la red está ubicada en la provincia de Imbabura con una potencia de 998 kW. En la figura 2.1 se puede observar el sistema fotovoltaico donde se instaló 4 160 paneles solares para recolecta radiación solar y transformarla en energía [8].





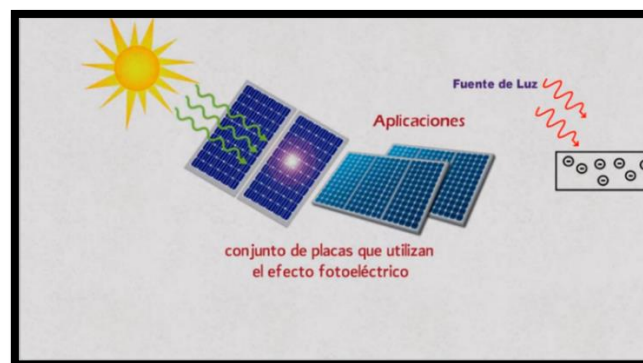
**Figura 2. 1:** Primera planta fotovoltaica en Ecuador [8]

### 2.2.3 Componentes de un sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico consta de: un panel fotovoltaico el cual está conformado, por celdas solares de silicio estas reciben los rayos solares y por medio del efecto fotoeléctrico se logra la conversión directa de la energía del sol a energía eléctrica continua. Las baterías funcionan como acumuladores de la energía generada. El regulador es un dispositivo electrónico que trabaja con las baterías y el panel permitiendo que cuando las baterías estén cargadas en su totalidad dirija la energía hacia otro destino. Inversor permite la conservación de corriente continua en corriente alterna [3].

### 2.2.4 Panel solar

Un panel solar es un dispositivo eléctrico el cual permite transformar la energía luminosa en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico. Está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte. El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se ilumina con radiación electromagnética. El funcionamiento de un panel solar se puede observar en la figura 2.2 [6].



**Figura 2. 2:** Funcionamiento de un panel solar mediante el efecto fotoeléctrico [6]

### 2.2.5 Panel solar SIMAX

Los paneles solares del sistema fotovoltaico deben ser conectados en paralelo ya que debido al voltaje nominal se establece según el trabajo que se vaya a realizar. El panel solar Simax es muy económico y tiene una gran factibilidad esto se debe gracias a sus características. En la siguiente tabla 2.1 se puede observar características técnicas del panel solar SIMAX SP636-140 [9].

**Tabla 2. 1:** Características técnicas del panel solar SIMAX SP636-140 [9]

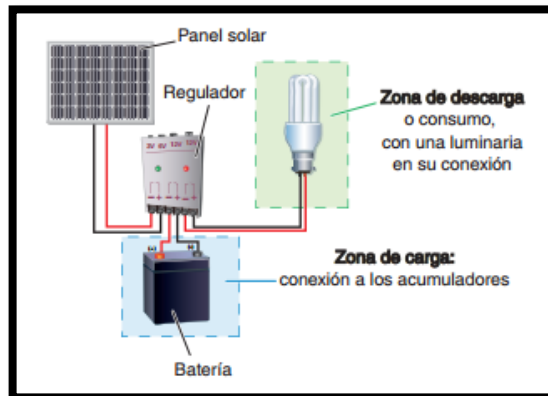
SIMAX SP636-140	Valor
Potencia Pico $W_p$ (W)	140
Voltaje de circuito abierto $V_{co}$ (V)	22,3
Corriente de cortocircuito $I_{sc}$ (A)	8,25
Voltaje de máxima potencia $V_{mp}$ (V)	18
Corriente de máxima potencia (A)	7,78

- SIMAX model: SP636-140
- Rated maximum power ( $P_m$ ) 140W
- Tolerance  $0\pm 3\%$
- Voltage at  $P_{max}$ ( $V_{pm}$ ) 17.8 V
- Current at  $P_{max}$ ( $I_{mp}$ ) 7.87 A
- Open- circuit voltage( $V_{oc}$ ) 21.8 V
- Short- circuit current ( $I_{sc}$ ) 8.56 A
- Nominal Operating cell Temp(NOCT)  $47\pm 2^\circ C$
- Maximum system voltage 1000VDC
- Maximum series fuse rating 10:00 AM
- Operating Temperature  $-40^\circ C$  to  $+85^\circ C$
- Application Class A
- Cell technology POLY-Si
- Weight 12 Kg
- Dimension(mm)  $1476\times 676\times 35$

### 2.2.6 Regulador de carga

El regulador de carga es el encargado de controlar y regular la descarga o sobrecarga excesiva de la batería con el fin de asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia consiguiendo mejorar el funcionamiento, rendimiento y a la vez alargar la vida útil de las baterías del propio sistema fotovoltaico. Sirve como protección ante picos altos o bajos

los cuales afectarían drásticamente al dispositivo, permitiendo que trabaje con un grado mayor de eficiencia y confiabilidad. En la figura 2.3 se puede observar la conexión del regulador [10].



**Figura 2. 3:** Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica [10]

Los reguladores de carga cumplen funciones como: proteger a las baterías de descargas excesivas o profundas, evitar descargas nocturnas, ajustar el procedimiento de carga según el tipo de batería, protección contra la inversión de polaridad, contra cortocircuitos.

## 2.2.7 Tipos de reguladores de carga

### 2.2.7.1 Regulador PWM (Modulación por anchura de pulsos)

Los paneles funcionan a la misma tensión que las baterías solares ya que en el interior dispone de un diodo. Es la más común para instalaciones aisladas de 12V y 24V. Su vida útil es larga ya que están fabricadas con componentes sencillos. Durante la carga el regulador PWM pasa la corriente de la placa a la batería fotovoltaica hasta que la carga esté completa. A continuación, en la figura 2.4 se observa el regulador BlueSolar VICTRON PWM [11].



**Figura 2. 4:** Regulador BlueSolar VICTRON PWM [11]

El regulador PWM es capaz de abastecer por completo la batería ya que introduce la carga de forma gradual, a pulsos de tensión, en la fase de flotación, es la última fase de llenado de la

batería. La corriente se introduce de manera progresiva hasta que la batería esté llena de manera óptima y estable.

## **2.2.8 Controlador**

Controlador de carga de la batería solar administra y regula automáticamente el voltaje y la corriente que ingresa a la batería desde el panel solar, y está diseñado con protección contra cortocircuitos, protección contra circuitos abiertos, protección contra polaridad inversa y protección contra sobrecargas para garantizar que las baterías no están sobrecargadas, la energía no corre hacia atrás a los paneles solares durante la noche y drena las baterías. La energía solar es renovable para un uso duradero y ecológico [12].

### **2.2.8.1 Controlador solar de tres funciones TriStar**

Es un controlador de tres funciones el cual posee una carga confiable de baterías por energía solar, un control de carga o una regulación por desvío. El controlador opera en uno de esos modos por vez y pueden usarse dos o más controladores para proporcionar múltiples funciones. Funciona en sistemas de 12, 24 o 48 Vdc. Tiene un disipador de calor mucho más grande, así que puede ser utilizado en ambientes de hasta 45°C, además acepta cable calibre 2 AWG / 35 mm. El tablero de circuito impreso está ajustado y revestido para protección contra humedad y alojamiento de insectos. Incluye puerto RS-232 para conexión con computadoras personales, permite ajustes de carga, registro de datos y monitoreo a distancia. En la siguiente figura 2.5 se puede observar el controlador de tres funciones TriStar [13].



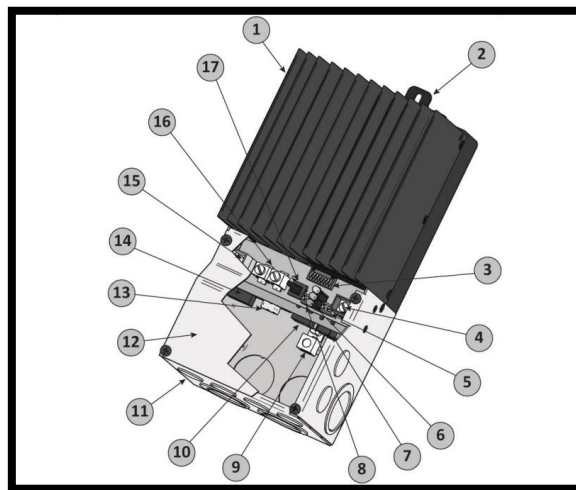
**Figura 2. 5:** Controlador solar de tres funciones TriStar [13]

En la siguiente tabla 2.2 podemos observar las especificaciones técnicas del TriStar TS-60.

**Tabla 2. 2:** Especificaciones técnicas del TriStar TS-60 [13]

Especificaciones técnicas	
Eléctricas	
Voltaje del sistema	12, 24, 48 Vcc
Corriente nominal	Regulación de la carga de la batería
TS-60	60 A
Corriente nominal	Control de carga por derivación
TS-60	60 A
Precisión	12/24V: $\leq 0.1 \% \pm 50\text{Mv}$ 48V: $\leq 0.1 \% \pm 100\text{Mv}$
Voltaje mínimo para operar	9 V
Máximo voltaje solar (Voc)	125 V
Voltaje de funcionamiento máximo	68 V
Consumo propio	< 20 Ma
Apagado por alta temperatura	
Desconexión por alto voltaje solar	A ecualización más alta + 0.2 V
• Reconexión de HVD	13.0 V
Protección contra transitorios	
• Especificación de potencia de pulso	4500 W (vatios) < 5 nanosegundos

En la figura 2,6 se puede observar las características y funciones del Tri Star TS-60.

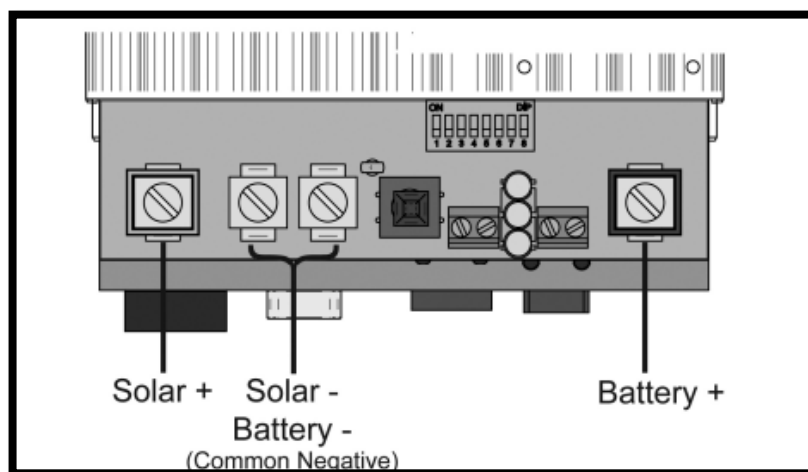


**Figura 2. 6:** Controlador solar de tres funciones TriStar [13]

1. Disparo de calor
2. Soporte de montaje
3. Selectores de calibración
4. Terminal positivo de batería rojo

5. Terminal del sensor remoto de temperatura
6. Indicadores luminosos led
7. Conector MeterBus™
8. Terminales de recepción de voltaje de batería
9. Terminal tierra
10. Conector Ethernet
11. Caja de conexiones con entrada de conductos
12. Tapa de la caja de conexiones
13. Conector serie RS-232
14. Conector EIA-485
15. Terminal positivo solar (amarillo)
16. Terminales de común negativo
17. Pulsador

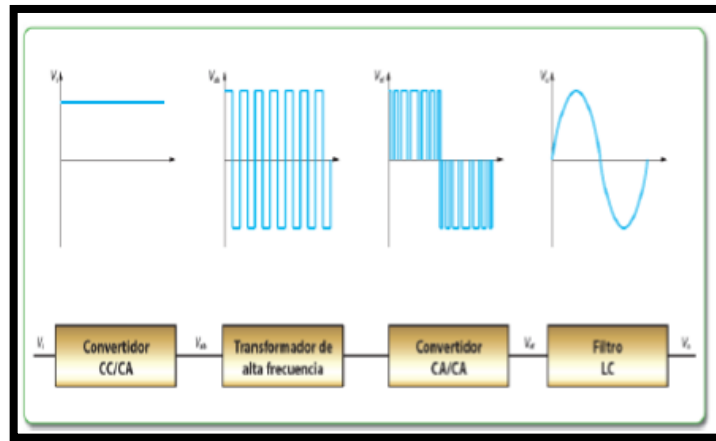
En la figura 2.7 se puede observar las ubicaciones en los terminales ya que de esa manera obtendremos un mejor entendimiento al momento de realizar la conexión.



**Figura 2. 7:** Ubicación de los terminales eléctricos [13]

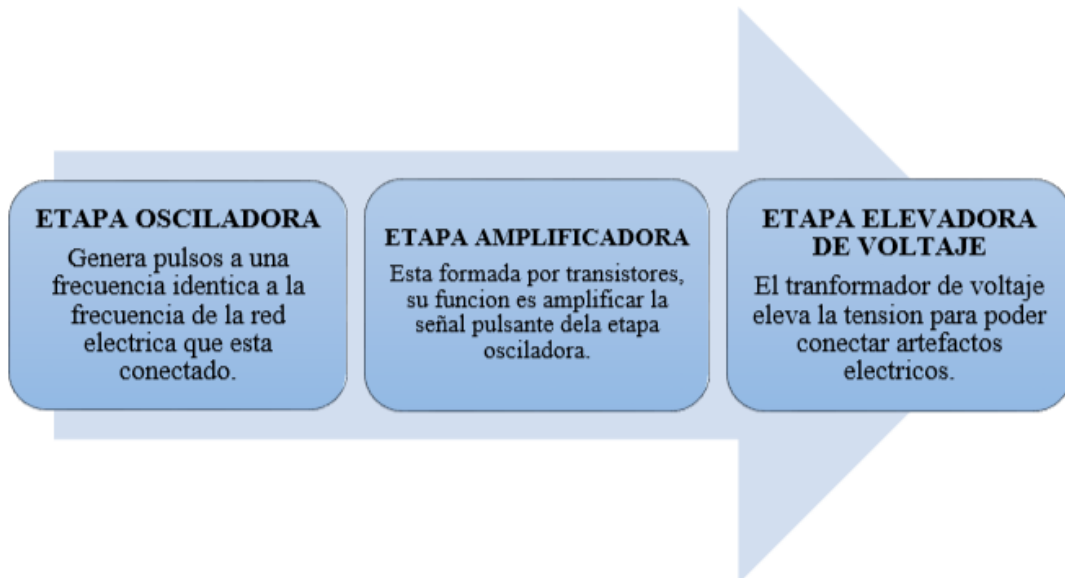
### 2.2.9 Inversor

Este dispositivo permite transformar el voltaje de entrada de corriente continua generado por los paneles solares, a un voltaje equilibrado de salida de corriente alterna con la magnitud y frecuencia que se desee. Este dispositivo es opcional de acuerdo a las condiciones de operación de los equipos conectados al sistema. En la figura 2.8 se podrá observar el esquema del principio de un inversor [14].



**Figura 2. 8:** Esquema del principio de un Inversor [14]

El inversor está formado por 3 capas las cuales se muestra en la figura 2.9.



**Figura 2. 9:** Etapas de un inversor [14]

### 2.2.10 Tipos de inversores

### 2.2.11 Inversor Power Star W7

La serie LW de Power Star es un inversor profesional de operación continua, alta carga y bajo consumo. Soporta peak de partidas de hasta un 300% de su valor nominal, es decir, 9000W. Ideal para uso con motores como: bombas de agua, herramientas eléctricas u otros de hasta 3 HP. En la siguiente figura 2.10 se puede observar el inversor Power Star W7 [14].



**Figura 2. 10:** Inversor Power Star W7 [14]

### Funciones principales

Las funciones principales del inversor Power Star W7 son:

1. El inversor solar con 70AMP construido en el cargador de CA.
2. La función de UPS.
3. El voltaje 110/120/230 y 220/230/240V 50Hz o 60Hz ajustable a través de la pantalla LCD.
4. La capacidad disponible de 500W, 750W, 1000W, 1500W, 2000W, 3000W, 4000W, 5000W, 6000W, 7000W y 8000W.
5. La potencia máxima: 3 veces la potencia nominal.
6. Control remoto opcional, omisión, y la reconexión automática.

En la siguiente tabla 2.3 podemos observar las especificaciones del Inversor Power Star W7.

**Tabla 2. 3:** Especificaciones del inversor Power Star W7 [14]

Especificaciones generales	Power star W7	
Onda de entrada	Onda pura (Generador o red eléctrica)	
Voltaje nominal de entrada	120VAC	230VAC
Apagado por baja tensión	90V ± 4%	184V/154V ± 4%
Reencendido por baja tensión	100V ± 4%	194V/164V ± 4%
Apagado por alta tensión	140V ± 4%	253V ± 4%
Reencendido por alta tensión	135V ± 4%	243V ± 4%
Entrada de voltaje máximo	150VAC	270VAC
Entrada nominal de frecuencia	50 Hz o 60Hz	
Low freq trip	47 Hz for 50 Hz, 57 Hz for 60 Hz	
High freq trip	55 Hz for 50 Hz, 65 Hz for 60 Hz	
Onda de salida	Modo bypass	
Protección de sobrecarga	Fusible automático	
Protección de cortocircuito	Fusible automático	
Transferencia de relé	30amp or 40amp	
Eficiencia del modo de transferencia	95% +	
Tiempo de transferencia	10 ms	
Bypass sin conexión de batería	Sí	
Corriente máxima bypass	30amp or 40amp	
Bypass corriente de sobrecarga	35amp or 45amp: Alarm	



En la siguiente tabla 2.4 podemos observar las especificaciones de salida del inversor Power Star W7.

**Tabla 2. 4:** Especificaciones de salida del inversor [14]

Especificaciones salida del inversor	
Onda de salida	Onda pura
Potencia de salida continua Vatios	1000 2000 3000 4000 5000 6000
Potencia de salida continua VA	1000 2000 3000 4000 5000 6000
Factor de potencia	0.9-1.0
Voltaje nominal de salida RMS	120/230VAC
Regulacion de salida RMS	+/- 10% RMS
Frecuencia de salida	50 Hz $\pm$ 0.3 Hz or 60 Hz $\pm$ 0.3 Hz
Eficiencia nominal	> 88%
Potencia de pico	3000 6000 9000 1200 1500 18000
Proteccion de cortocircuito	Si

En la siguiente tabla 2.5 podemos observar las especificaciones de entrada del inversor Power Star W7.

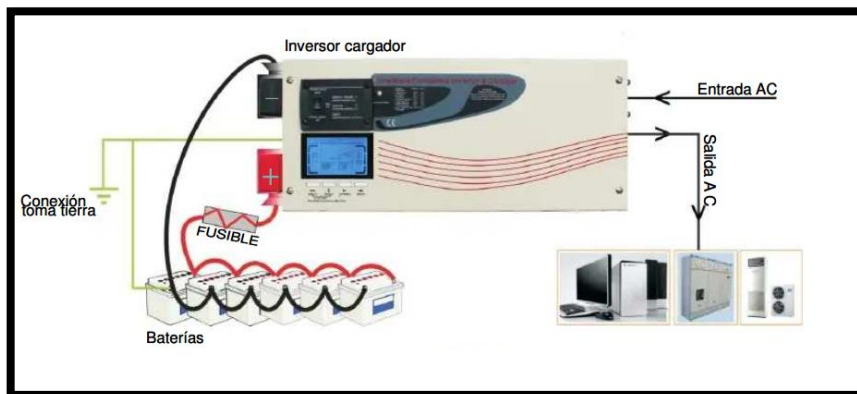
**Tabla 2. 5:** Especificaciones entradas inversor [14]

Especificaciones entrada inversor			
Voltaje nominal de entrada	12V	24V	48V
Mínimo voltaje de funcionamiento	10V	20V	40V
Alarma batería baja	10.5V	21V	42V
Desconexión por baja batería	10V	20V	40V
Alarma alto voltaje batería	16V	32V	64V
Modo ahorro	DEBAJO DE 25W		
Modo ahorro	Pulsa el interruptor ON/OFF en modo ahorro		

### 2.2.11.1 Conexión del inversor Power Star W7

El inversor es ampliamente aplicado en el generador eólico, solar de batería, casa, vehículo, nave y los lugares donde la falta de alimentación principal, móvil de la electricidad. La serie LW onda senoidal pura inversor convertidor de frecuencia baja lleva el dispositivo, con el construido en el transformador de aislamiento. Tensión cero(ZV) y conmutación technic, alta capacidad de la MCU de Motorola, digital y falso técnicas combinadas que completan el aumento de tensión en una sola vez y onda SPWM modemed circuito de avanzada, alta

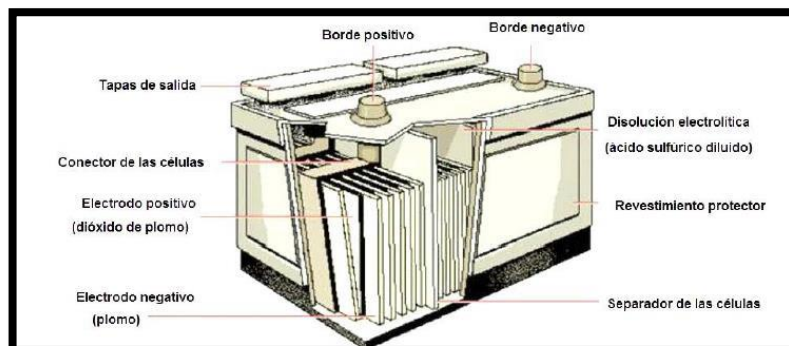
eficiencia y un tamaño compacto, peso pequeño y súper estabilidad. No tiene repelencia a la carga, que puede funcionar bien con carga inductiva como lámparas fluorescentes, electromotor Inducción, microondas, cocina, nevera, aire acondicionado y transformador. Con la protección funcion como entrada de CC, proteger la protección contra la entrada de CA sobre y bajo voltaje de salida, la protección contra sobrecarga, protección del circuito de shor, dc de entrada y salida AC completamente eléctricos de aislamiento. A continuación en la figura 2.11 se puede observar la conexión del inversor Power Star W7 [15].



**Figura 2. 11:** Funcionamiento del inversor Power Star W7 [15]

### 2.2.12 Baterías para paneles solares

La batería se encarga de regular la energía eléctrica. Almacena electricidad para poder utilizarla cuando sea necesario. La batería es un componente elemental porque suministra energía a la instalación durante los días de poca luz o sol. Entre las baterías recomendadas para sistemas fotovoltaicos están las estacionarias o de ciclo profundo, la mayoría son de plomo ácido debido a que las de níquel o litio tienen un costo elevado en el mercado. A continuación de la figura 2.12 se puede observar las partes de una batería o acumulador [16].



**Figura 2. 12:** Elementos de una Batería de Plomo Acido [16]

El buen funcionamiento de una batería se basa en parámetros principales para un sistema fotovoltaico los cuales son: el máximo valor de corriente que puede entregar a una carga fija en

forma continua durante un número específico de horas, la capacidad de almacenamiento de la energía, profundidad de descarga máxima y la vida útil.

### 2.2.12.1 Tipos de baterías para paneles solares

Existen varios tipos de baterías y se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos. Los principales tipos de baterías para instalaciones solares fotovoltaicas son: batería de ácido-plomo, batería de ácido-plomo VRLA AGM, batería de ácido-plomo VRLA de gel, baterías de litio fosfato de hierro.

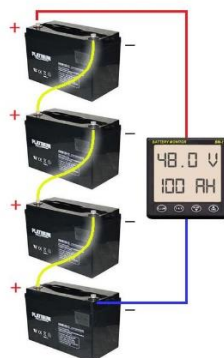
### 2.2.12.2 Batería de ácido-plomo de VRLA gel

Las baterías que utilizan gel no requieren mantenimiento y el interior está totalmente aislado del exterior. Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas. Al momento de cargar estas baterías se producen grietas pequeñas en el gel por lo tanto cabe paso a la recombinación de gases liberados durante el gaseo, son económicas. A continuación, en la figura 2.13 se observa una batería ácido-plomo de VRLA gel [17].



**Figura 2. 13:** Batería ácido-plomo de VRLA gel [17]

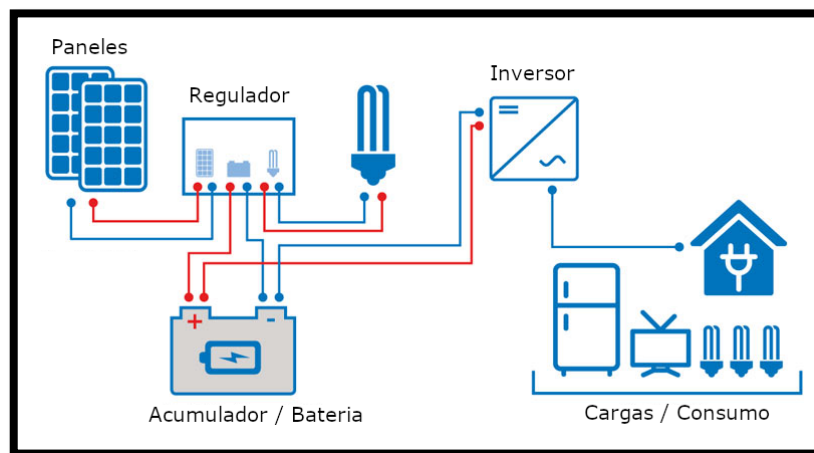
En la siguiente figura 2.14 podemos observar una conexión en serie la cual fue aplicada con satisfacción en la propuesta tecnológica. Las características técnicas y verificación si están en un buen estado la batería 6-CNJ-120 se las puede observar en el Anexo I y Anexo II.



**Figura 2. 14:** Batería conectada en serie [17]

### 2.2.12.3 Sistema fotovoltaico aislado

Es un sistema que alimenta cargas a través de la energía fotovoltaica y que no está conectado a la red eléctrica. El objetivo principal es satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica en lugares donde no han llegado de la red eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos tienen gran aplicación a distintas escalas, desde pequeños sistemas fotovoltaicos que alimentan lámparas, hasta redes capaces de suministrar energía eléctrica para población completa. Los componentes que habitualmente conforman un sistema fotovoltaico aislado son: generador fotovoltaico, acumulador, regulador de carga, inversor. En la siguiente figura 2.15 se muestra el esquema de un sistema fotovoltaico aislado [5].



**Figura 2. 15:** Esquema de un sistema fotovoltaico aislado [5]

Las aplicaciones donde se puede encontrar los sistemas fotovoltaicos aislados son en pequeñas instalaciones de iluminación en viviendas, en instalaciones de bombeo agua de pozos de riego autónomo además se puede realizar instalaciones en viviendas en las que es factible económicamente implementar una instalación autónoma que realizar la conexión a la red general [6].

### 2.2.13 Aplicaciones de un sistema fotovoltaico

#### 2.2.13.1 En la industria

Un sistema fotovoltaico en la industria necesariamente tiene que tener una potencia superior a los 10 kWp ya que es una capacidad ideal para muchos tipos de empresas con fines de autoconsumo, así como la producción y venta de energía eléctrica. La energía solar en la industria se consume con el fin de generar calor necesario para los procesos industriales, como

para el combustible de las calderas con el objeto de generar vapor necesario en la fabricación o para las materias primas con la finalidad de fabricar plásticos y productos químicos [18].

### 2.2.13.2 En la parte residencial o domestica

Los paneles solares que capturan la luz del sol se instalan en los tejados de las casas los cuales permiten ahorrar hasta un 95% en el consumo de luz en los hogares. Un sistema fotovoltaico de 3 kW es suficiente para una familia de 3 a 4 personas.

Un sistema solar residencial es un grupo de varios módulos fotovoltaicos ya que deben aprovechar la luz del sol y se fijan directamente a la luz del sol. Los condominios y hoteles hasta el 2021 estarán satisfechos con una deducción del 75% para la instalación de sistemas fotovoltaicos y sistemas con acumulación que alimentan a los usuarios [19].

### 2.2.14 Protecciones eléctricas en un sistema fotovoltaico

Las protecciones eléctricas en una instalación solar fotovoltaica son necesarias ya que garantizan la seguridad general del sistema. Se dividen en niveles los cuales son corriente continua que está formada por fusibles, interruptor termomagnético de continua y protector de descarga atmosférica. El segundo nivel de corriente alterna está constituido por interruptor, disyuntor diferencial y protector de descarga [20].

#### 2.2.14.1 Protecciones para el lado de corriente continua

La primera medida de protección de un sistema fotovoltaico se encuentra en los fusibles DC los cuales se pueden observar en la figura 2.16. La corriente circula a través de estos fusibles cuando la operación está en condiciones normales, si la corriente por algún motivo supera la corriente máxima que soporta el fusible se funde el conductor de metal en su interior y abre el circuito evitando dañar al resto de componentes o causar posibles incendios. Por lo tanto, es fácil de reemplazar por un nuevo fusible.



Figura 2. 16: Conductor porta fusibles solar MC4FUS [20]

El interruptor termomagnético Vcc protege el circuito de continua del daño causado por la potencial circulación de excesiva corriente. También son empleados como seccionadores para el polo positivo y el negativo. A continuación, en la figura 2.17 se observa el interruptor termodinámico y los seccionadores los cuales son útiles para proteger a la instalación.



**Figura 2. 17:** Seccionadores e interruptor termo magnético Vcc [20]

La corriente alterna y la corriente continua tienen que estar protegidas contra las sobretensiones y contra los rayos que se pueden producir en una tormenta. Se utiliza un elemento conocido como descargador atmosférico el cual se puede observar en la figura 2.18. Se utiliza la misma protección para sistemas en red y fuera de la red.



**Figura 2. 18:** Protector de descargas atmosféricas [21]

#### 2.2.14.2 Protecciones para el lado de corriente alterna

El interruptor termomagnético VCA tiene dos efectos que son el magnetismo y el calor para interrumpir el paso de la corriente cuando se detectan valores superiores a límites determinados por el fabricante. Tiene como objetivo proteger de sobrecargas y cortocircuitos a cables y equipos eléctricos. En la figura 2.19, se muestra un interruptor termodinámico VCA [20].



**Figura 2. 19:** Interruptor termodinámico Vca [22]

Para proteger los equipos de sobretensiones y rayos originados de la red se utiliza un descargador atmosférico el cual se instala a una jabalina de cobre literalmente puesta a tierra. En la figura 2.20, se puede observar el descargador atmosférico [20].



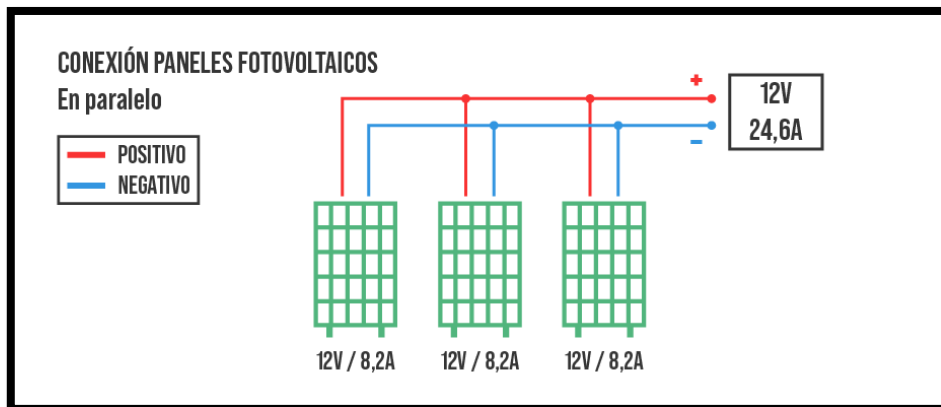
**Figura 2. 20:** Descargador Atmosférico [21]

### **2.2.15 Formas de conexión de un sistema fotovoltaico**

Las conexiones de un sistema fotovoltaico pueden ser: en serie, paralelo y mixta serie-paralelo.

#### **2.2.15.1 Conexiones en paralelo**

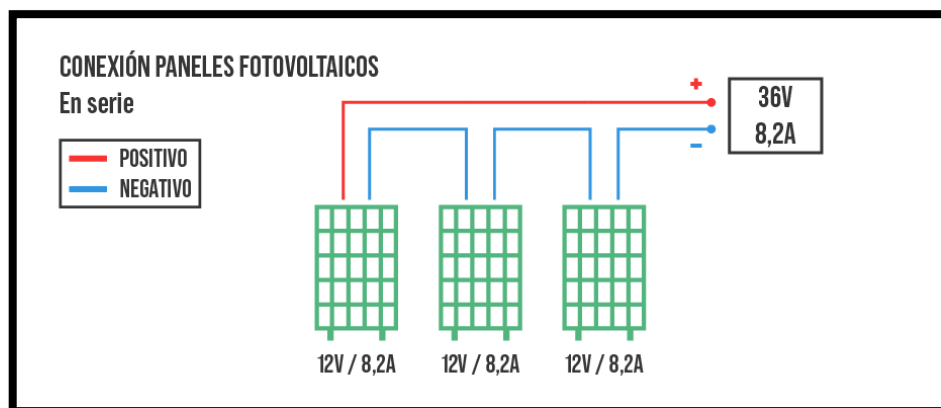
Para tener una conexión en paralelo hay que conectar por un lado todos los polos positivos de las placas de la instalación solar y, por otro lado, conectar todos los polos negativos ya que de esta manera el voltaje de las placas se mantiene, mientras que la intensidad se suma. En la siguiente figura 2.21, se puede observar una conexión de paneles solares en paralelo [23].



**Figura 2. 21:** Conexión de paneles fotovoltaicos en paralelo [24]

### 2.2.15.2 Conexiones en serie

Las conexiones en serie los paneles solares tienen que tener una potencia entre los 200W y los 260W los cuales tienen que estar compuestos por 60 células. Mediante la conexión en serie se conectan directamente las placas solares. El polo positivo de un panel tiene que estar conectado con el polo negativo del panel siguiente. La intensidad se mantiene y se suma el voltaje. A continuación en la figura 2.22 se puede observar conexión en serie de paneles fotovoltaicos [23].

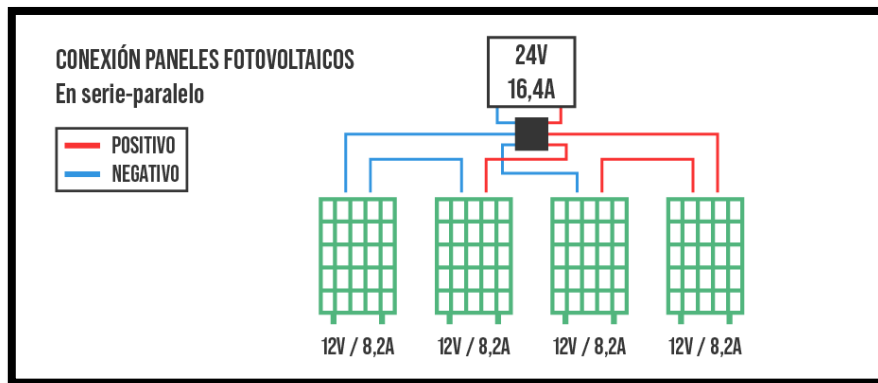


**Figura 2. 22:** Conexión de paneles fotovoltaicos en serie [24]

### 2.2.15.3 Conexión mixta

La conexión mixta es decir en serie y paralelo se utilizan en instalaciones solares que se conectan 5 o más placas de 60 células con una potencia superior a 200W. Permite tener un voltaje no muy alto y a su vez, multiplicar el amperaje total de la instalación. En este tipo de conexión se aumenta tanto el voltaje como la intensidad. La figura 2.23, muestra un ejemplo de una conexión mixta [23].





**Figura 2. 23:** Conexión de paneles fotovoltaicos mixta [24]

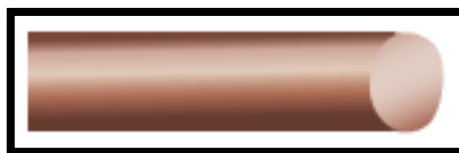
## 2.2.16 Conductores eléctricos para paneles fotovoltaicos

Los conductores son los encargados de conducir la electricidad. El principal material con el que están fabricados es el cobre ya que el cobre tiene un alto grado de conductividad a pesar que el aluminio también es utilizado, aunque su grado de conductividad es menor también es más económico que el cobre [25].

### 2.2.16.1 Tipos de conductores eléctricos

#### 2.2.16.1.1 Conductor de alambre desnudo

Es un alambre en estado sólido, no es flexible y no tiene recubrimiento. Este tipo de conductores se utilizan para realizar conexiones a tierra en conjunto con las picas de tierra. Todos los conductores de Cobre se fabrican con una pureza mínima del 99.9% y en temple duros o suaves; los primeros son utilizados en líneas aéreas donde es requerida una mayor carga de rotura. A continuación, en la siguiente figura 2.24 se puede observar el conductor de alambre desnudo [25].

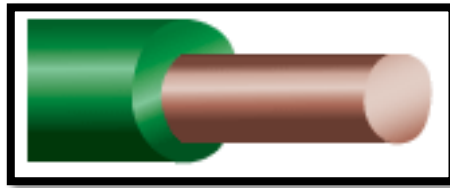


**Figura 2. 24:** Alambre desnudo [25]

#### 2.2.16.1.2 Conductores de alambre aislado

Tiene recubrimiento de una capa de aislante de material plástico para que el conductor no entre en contacto con ningún otro elemento. Se utiliza más que el cobre desnudo tanto en viviendas como oficinas. Puede ser usado en lugares secos o húmedos a una temperatura de 60°C de

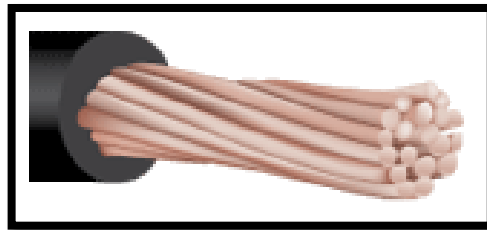
operación, tensión de voltaje 600 V. En la figura 2.25, se puede observar al conductor de alambre aislado.



**Figura 2. 25.**Alambre aislado [25]

### **2.2.16.1.3 Conductor de cable flexible**

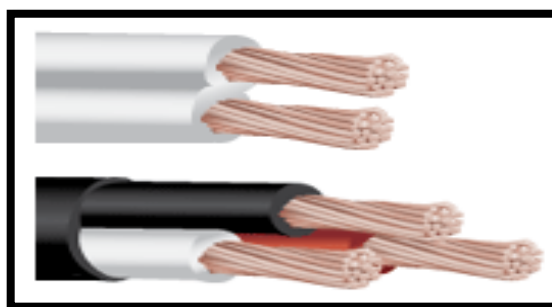
Es uno de los cables más comercializado y más aplicado ya que está compuesto por multitud de finos alambres recubiertos por materias plásticas. Son flexibles y son muy moldeables. La principal ventaja de este sistema es que permite que el cable sea realmente flexible, de aquí que se pueda poner en muchos lugares por lo tanto ofrecen una libertad de movimiento al momento de instalarlo. Se puede observar en la figura 2.26, el conductor de cable flexible.



**Figura 2. 26:** Cable flexible [25]

### **2.2.16.1.4 Conductor de cordón**

Están formados por más de un cables o alambre, se juntan todos. Tienen el propio aislamiento de cada conducto más uno los reúne en conjunto único. Esto permite que sea más fácil crear las diferentes corrientes, de aquí que sea otra variedad muy usada, sobre todo a la hora de conectar electrodomésticos o cualquier otro aparato eléctrico. En la siguiente figura 2.27 se puede observar el conductor tipo cordón [25].



**Figura 2. 27:** Conductor de cordón [25]

### 2.2.16.1.5 Cable solar flex

El cable solar es el encargado de transportar la energía eléctrica en corriente continua entre los diferentes componentes de la instalación fotovoltaica, desde que se genera en el panel solar hasta el inversor donde se convierte esta corriente continua en corriente alterna. El cable solar se difiere del cable eléctrico habitual en que las corrientes que debe transportar son mucho más elevadas en el caso del cable solar. Esto es debido a que la tensión de la instalación fotovoltaica es baja en comparación con una instalación de consumo a 230 voltios. Puesto que las caídas de tensión y las pérdidas energéticas dependen de la corriente eléctrica, las secciones de cable solar son superiores a las secciones de los cables eléctricos de consumo a 230 voltios, éstas últimas son habitualmente de 1,5 o 2,5 mm<sup>2</sup>. En la siguiente figura 2.28, se puede observar el cable solar flex [26].



**Figura 2. 28:** Cable Solar Flex [26]

### 2.2.17 Conectores MC4

Son conectores ideales para realizar especialmente instalaciones fotovoltaicas ya que cumplen con los requerimientos para soportar condiciones atmosféricas extremas. También se les llama conectores para paneles solares porque comúnmente se utilizan en la industria fotovoltaica [27]. En la siguiente figura 2.29, se observa un conector MC4 los cuales son utilizados empleados para la parte de conexión del cable solar. En el presente proyecto de la implementación de protecciones para el sistema fotovoltaicos se utilizaron debido a que son los más adecuados para este tipo de aplicaciones, los mismos se los pueden encontrar en el mercado ecuatoriano.



**Figura 2. 29:** Conector MC4 [27]

A continuación, dimensiones de los conectores MC4 se la puede observar en el Anexo III, teniendo en cuenta que los mismos serán empleados para realizar de una debida manera las conexiones del sistema de paneles fotovoltaicos.

#### **2.2.18 Software ETAP 12.6**

Es una herramienta de análisis y control para simulación, diseño y operación de sistemas de potencia eléctrica de generación, distribución e industrial. Es una herramienta integrada que ha sido diseñada por ingenieros. Esta herramienta dispone de bastantes módulos como son. Redes AC o DC, tendido y rutado de cables, redes de tierra, coordinación y selectividad de protecciones, diagramas de control de sistemas AC y DC [28].



**Figura 2. 30:** Software ETAP 12.6 [28]

### **3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

#### **3.1 METODOLOGÍA**

##### **3.1.1 Cualitativa**

Para la siguiente propuesta tecnológica se empleará el uso de la metodología cualitativa, debido a que se evaluarán y comprobarán las características técnicas que poseen los componentes de protección en un sistema fotovoltaico, ya que estos son importantes para proteger aparatos como: el inversor y el controlador del sistema.

##### **3.1.2 Cuantitativa**

Se realizaron ponderaciones para la selección de los diferentes componentes electromecánicos para escoger la mejor alternativa de protección a cada elemento que conforma el sistema fotovoltaico de la terraza de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

##### **3.1.3 Experimental**

Mediante la metodología experimental, se recopilaron datos en cuanto a la visualización del espacio en la cual deberán ir ubicados los elementos que conformen el sistema fotovoltaico y las distancias a las cuales se encuentren los mismos, ya que así se podrá determinar con facilidad la distancia que se requiere de cable para realizar las conexiones.

##### **3.1.4 Técnicas**

Observación para ver las placas de los dispositivos electrónicos que conforman el circuito de control del sistema de paneles fotovoltaicos, ya que son elementos electrónicos y electromecánicos.

Medición para las magnitudes eléctricas de corriente y voltaje mediante instrumentos como multímetros y pinzas perimétricas.

Simulación mediante software eléctricos como en este caso el ETAP 12.6.

##### **3.1.5 Instrumentos**

Multímetro empleado para la medición de voltaje en corriente continua y corriente alterna.

ETAP empleado para la simulación del sistema fotovoltaico.

##### **3.1.6 Levantamiento de equipos disponibles**

A continuación, se realizó el levantamiento de los equipos disponibles en el laboratorio de energía renovables para realizar el conexionado del sistema fotovoltaico, por lo tanto, en la

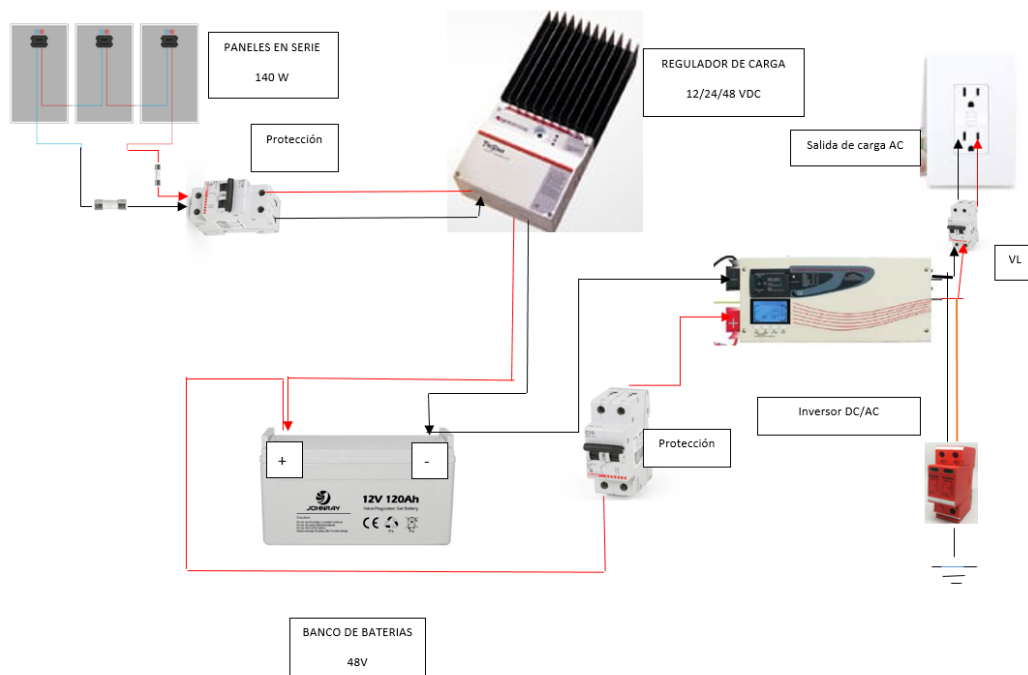
siguiente tabla 3.1, se puede observar los componentes que se encontraban implementados para realizar dicha propuesta tecnológica.

**Tabla 3. 1:** Levantamiento de equipos disponibles

Levantamiento de equipos disponibles		
Equipos	Descripción	Cantidad
Regulador de carga TriStar TS-60	Control de sobrecarga	1
Batería de gel 6-CNJ-120	Recolectan energía	7
Batería Ritar RA12-100	Condición regular para uso del sistema	1
Inversor PowerStar W7	Permite transformar el voltaje de entrada de corriente continua	1
Inversor de 50 Hz	No idóneo para paneles solares	2
Panel solar SIMAX SP636-140	Recoge la energía solar	14

### 3.1.7 Diagrama de conexión de paneles solares.

En la siguiente figura 3.1, se observa el diagrama de conexión que debe poseer una configuración de paneles fotovoltaicos, teniendo en cuenta que está constando de un regulador de carga y un inversor los cuales son los elementos que se deben proteger cuando el sistema se encuentra en operación.



**Figura 3. 1:** Diagrama de conexión

### 3.1.8 Dimensionamiento de protecciones para componentes del sistema fotovoltaico.

De acuerdo al diagrama que se observó en la figura 3.1, se deben colocar protecciones en el circuito de corriente continua y corriente alterna en un sistema de paneles fotovoltaicos, ya que se conoce que los mismos recolectan energía solar para transformar a energía eléctrica. Además, se tiene en cuenta que la energía que estos producen es en corriente continua, mientras que el consumo a nivel doméstico o industrial es en corriente alterna.

### 3.1.8.1 Paneles fotovoltaicos

Se conoce que los paneles fotovoltaicos tienen como finalidad recolectar la energía del sol para después convertirla en energía eléctrica, teniendo en cuenta que generan desde 12 Vcc a 48 Vcc dependiendo del fabricante.

#### 3.1.8.1.1 Cálculo de potencia máxima en paneles fotovoltaicos

Se debe determinar la potencia que se genera en la configuración de los paneles solares, estos pueden estar conectados en serie, paralelo o circuitos mixtos. Además, se conoce que la Universidad Técnica de Cotopaxi dispone de 13 paneles en el área de la terraza, los cuales son: 10 de Simax (Suzhou) Green New Energy de 140 W y 3 10 de Simax (Suzhou) Green New Energy de 150 W, dichas características técnicas se las observa en los Anexos IV y V.

A continuación, mediante el uso de la siguiente ecuación 3.1 se podrá determinar la potencia máxima que se producen en los paneles solares.

$$P_{max\ arreglo} = N \cdot P_m \quad Ec (3.1)$$

Donde:

N: Número de paneles, (adimensional)

P<sub>m</sub>: Potencia del panel, (W).

P<sub>max arreglo</sub>: Potencia máxima, (W)

#### 3.1.8.1.2 Cálculo de voltajes en paneles solares

Por lo general, al momento de realizar mediciones en paneles solares se deben determinar los valores de voltaje en el instante en que se encuentren sometidos a carga y a circuitos abiertos, ya que estos valores llegan a variar.

Aplicando la siguiente ecuación 3.2, se podrá determinar el voltaje máximo en circuito abierto, lo que implica que no existirá ninguna carga conectada a la salida de los paneles fotovoltaicos.

$$V_{oc\ arreglo} = N \cdot V_{oc} \quad Ec (3.2)$$

Donde:

N<sub>SA</sub>: Número de arreglos en serie, (adimensional)

V<sub>oc</sub>: Voltaje a circuito abierto, (V)

V<sub>oc arreglo</sub>: Voltaje máximo a circuito abierto, (V)

A continuación, mediante la ecuación 3.3 se podrá determinar el voltaje a máxima potencia que se produce en los paneles fotovoltaicos.

$$V_{mp\ arreglo} = N \cdot V_{mp} \quad Ec (3.3)$$

Donde:

NSA: Número de arreglos en serie, (adimensional)

Vmp: Voltaje optimo, (V)

Vmp arreglo: Voltaje a máxima potencia, (V)

### 3.1.8.1.3 Cálculo de corrientes en paneles solares

Las corrientes a determinarse en los paneles solares por lo general son: cuando el equipo se encuentra trabajando en cortocircuito y a plena carga, por lo que es indispensable hacer uso de los datos de placa para su respectivo cálculo.

Mediante el uso de la siguiente ecuación 3.4, se podrá determinar la corriente cuando el panel se encuentre en cortocircuito.

$$I_{sc \text{ arreglo}} = NAP \cdot I_{sc} \quad \text{Ec (3.4)}$$

Donde:

NA: Número de arreglos en paralelo, (adimensional)

Isc arreglo: Corriente de cortocircuito del arreglo, (A)

Isc: Corriente del panel, (A)

A continuación, mediante la ecuación 3.5 se podrá calcular la corriente a máxima potencia en los paneles fotovoltaicos.

$$I_{mp \text{ arreglo}} = NAP \cdot I_{mp} \quad \text{Ec (3.5)}$$

Donde:

NA: Número de arreglos en paralelo, (adimensional)

Imp arreglo: Corriente a máxima potencia del arreglo, (A)

Imp: Corriente del panel, (A)

### 3.1.8.2 Regulador de carga

Es un dispositivo electrónico que debe ir instalado entre los paneles fotovoltaicos y las baterías, teniendo como finalidad controlar el flujo de energía que circulan entre los dos elementos. Además, dicho tránsito de energía se produce gracias al control de los parámetros de intensidad y voltaje.

A continuación, mediante la siguiente ecuación 3.6 se puede determinar el valor máximo de voltaje que debería tener el equipo, por lo general requieren de un valor mínimo de 9 Vcc para su accionamiento.

$$V_p = 1.15 \cdot V_c \quad \text{Ec. (3.6)}$$

Donde:

Vp: Voltaje máximo, (V)



Vc: Voltaje del equipo, (V)

Mediante el uso de la siguiente ecuación 3.7, se puede determinar la potencia que tendrá el regulador de carga en el instante que se encuentre trabajando.

$$P = Vp \cdot I \quad \text{Ec. (3.7)}$$

Donde:

I: Corriente del equipo, (A).

P: Potencia, (W).

Vp: Voltaje, (V).

### 3.1.8.3 Inversor

Es el encargado de convertir la corriente continua que ingresa en el mismo por corriente alterna, dicho componente es muy importante debido a que por lo general las cargas suelen ser de corriente alterna. Además, se debe tener en cuenta que el inversor también sincroniza la frecuencia de la corriente inyectada con la red eléctrica.

#### 3.1.8.3.1 Cálculo de corrientes en el inversor

A continuación, mediante el uso de las siguientes ecuaciones se podrán determinar los valores a la entrada y a la salida del inversor, lo que significa que son corriente continua y alterna.

Con la siguiente ecuación 3.8, se determinará el valor a la entrada del inversor.

$$I_{cc} = \frac{P_i}{V_{cc}} \quad \text{Ec (3.8)}$$

Donde:

I<sub>cc</sub>: Corriente a la entrada del inversor, (A)

P<sub>i</sub>: Potencia del inversor, (W)

V<sub>cc</sub>: Voltaje del inversor, (V)

Mediante la ecuación 3.9, se puede calcular la corriente a la salida del inversor.

$$I_{ca} = \frac{P_i}{V_{ca}} \quad \text{Ec (3.9)}$$

Donde:

I<sub>ca</sub>: Corriente a la salida del inversor, (A)

P<sub>i</sub>: Potencia del inversor, (W)

V<sub>ca</sub>: Voltaje del inversor, (V)

### 3.1.9 Conductor para paneles fotovoltaicos

Los conductores son los encargados de interconectar los distintos componentes electromecánicos y electrónicos en un sistema fotovoltaico, por lo que son de suma importancia ya que deben soportar el voltaje y la corriente que pasen por los mismos. Por lo tanto, mediante

la ecuación 3.10 se podrá determinar cuál es el calibre que se utilizará en las distintas conexiones.

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\sigma \cdot \Delta V} \quad \text{Ec. (3.10)}$$

Donde:

S: Sección de cable, ( $mm^2$ )

I: Corriente, (A)

L: Largo del cable, (m)

$\sigma$ : Conductividad (cobre = 59 S/m)

$\Delta V$ : Caída de tensión, (V)

### **3.1.10 Selección de cable**

El cable es el encargado de trasladar la corriente por todo el circuito, por lo que para realizar su respectiva selección es indispensable tener en consideración algunos aspectos como son:

- Características técnicas en cuanto a corriente que pueda trasladar y voltaje que soporta
- Tipo de cable
- Tipo de aislante
- Accesibilidad
- Costos

### **3.1.11 Protecciones eléctricas contra sobrecarga en sistemas fotovoltaicos**

Se conoce que las protecciones son de importancia en todo tipo de circuitos, ya que estos son los encargados de proteger a las cargas principales sean estos motores, actuadores, luminaria, etc. Por lo tanto, al momento de realizar su selección se debe tener en cuenta las características técnicas de los equipos a proteger.

Además, se tiene en cuenta que por lo general se colocan protecciones contra sobrecarga debido a que en el sistema pueden llegarse a colocar mayores cargas de las establecidas, por lo que se pueden emplear fusibles o breakers contra sobretensión de energía solar

Sin embargo, al momento de realizar la selección del componente de protección que se debe utilizar en un circuito se deben analizar algunos aspectos tales como:

- Características técnicas en cuanto al voltaje y corriente
- Disponibilidad del equipo en el mercado
- Calidad del producto
- Costos

Haciendo uso de los aspectos mencionados, se puede garantizar una correcta selección de los componentes de protección, teniendo en cuenta que, por lo general, la mayoría de casos es recomendable colocar mínimo dos componentes con una sincronización adecuada en cuanto al tiempo de accionamiento de los mismos.

### **3.1.12 Selección de software para el diagrama unifilar**

Es de importancia realizar el diagrama unifilar de cualquier circuito, ya sea de control o de fuerza, en corriente alterna o continua, teniendo en cuenta que este va a permitir visualizar de mejor manera la ubicación de los componentes que conformen el circuito. Además, se podrá analizar de manera más eficiente el tipo de protección que se debe colocar en el mismo.

Por lo tanto, se deben emplear software eléctrico que permitan tener esta facilidad para el usuario, los cuales deben contar con ciertas características como:

- Entorno amigable para el usuario
- Gama de paquetes computacionales
- Librerías
- Accesibilidad al usuario
- Costos de instalación

El software que se emplee para realizar diagramas unificares, debe contar con lo mencionado anteriormente, debido a que en el programa se podrá analizar mediante una simulación si las protecciones están correctamente diseñadas o sobredimensionadas, también se puede comprobar si se accionan en un tiempo sincronizado para proteger los componentes designados.

A continuación, se procederá a obtener los resultados de lo mencionado anteriormente en cuanto a las protecciones que deben poseer todos los elementos que conformen el sistema fotovoltaico con la finalidad de protegerlos contra sobrecargas o alguna falla de cortocircuito.

Además, se obtendrán valores en cuanto a voltajes y corrientes que se generarán en los componentes del sistema fotovoltaico que se encuentra en la parte de la terraza de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **3.1.13 Parámetros calculados en paneles fotovoltaicos**

De acuerdo a lo mencionado anteriormente en el literal 3.1.8.1.1, se conoce que la Universidad Técnica de Cotopaxi dispone de 10 paneles Simax (Suzhou) Green New Energy de 140 W, mismos que trabajan a 21.8 Vcc y 7.87 A. En este caso se empleará una conexión mixta, con la finalidad de generar el suficiente voltaje y corriente para poder accionar un calefactor, dicha

memoria técnica se lo observa en el Anexo VI.

En la tabla 3.2, se observan los resultados obtenidos en cuanto a potencia, voltajes y corrientes que se generan en el panel solar en la configuración de colocar 5 paneles en serie y después los dos arreglos generados en paralelo.

**Tabla 3. 2:** Cálculo de potencia, voltajes y corrientes en los paneles solares

Descripción	Ecuación	Resultado
Potencia máxima	(3.1)	$P_{max\ arreglo} = 1400\ W$
Voltaje máximo a circuito abierto	(3.2)	$V_{oc\ arreglo} = 109\ V$
Voltaje a máxima potencia	(3.3)	$V_{mp\ arreglo} = 89\ V$
Corriente de cortocircuito del arreglo	(3.4)	$I_{sc\ arreglo} = 17.12\ A$
Corriente a máxima potencia del arreglo	(3.5)	$I_{mp\ arreglo} = 15.74\ A$

En la tabla anterior, se observan los resultados obtenidos matemáticamente, mismos que se puede observar su desarrollo en el Anexo VII.

### 3.1.14 Parámetros de cálculo del regulador de carga

En la tabla 3.3, se observarán los resultados obtenidos al momento de realizar los cálculos matemáticamente en cuanto al voltaje y la potencia, mismos que se los puede observar en el Anexo VIII. Además, se conoce que el regulador de carga es el encargado de controlar el flujo de energía que circula entre la batería y los paneles solares.

**Tabla 3. 3:** Cálculo de voltaje y potencia generada en el regulador de carga.

Descripción	Ecuación	Resultado
Voltaje de protección	(3.6)	$V_p = 55.2\ V$
Potencia	(3.7)	$P = 3312\ W$

En la tabla anterior 3.3, se observa que el valor máximo en el regulador de carga es de 55,2V y su potencia de 3312 W, son datos de importancia para poder seleccionar una protección adecuada para que pueda trabajar eficientemente. En el Anexo IX, se aprecia la ficha técnica del equipo regulador de carga Tri Star TS-60.

### 3.1.15 Cálculo de corriente a la entrada y salida del inversor

Por lo general, el inversor es el encargado de convertir la corriente continua en alterna, por lo que se debe conocer qué valor de corrientes va a tener a la entrada y a la salida, ya que de esta manera se podrá determinar qué tipo de protecciones se deben colocar a la entrada y a la salida del mismo.

En la siguiente tabla 3.4, se observan los valores obtenidos en la parte de corriente continua y alterna que se producen en el inversor.

**Tabla 3. 4:** Cálculo de corrientes en el inversor.

Descripción	Ecuación	Resultado
Corriente continua	(3.8)	$I_{cc} = 41.66 A$
Corriente alterna	(3.9)	$I_{cc} = 16.6 A$

Para obtener los valores de corrientes, se lo realizó de forma matemática la cual se observa en el Anexo X.

### 3.1.16 Cálculo de conductores para elementos del sistema fotovoltaico

Haciendo uso de la ecuación 3.10 mencionada en el literal 3.1.9, se determinará el calibre de los conductores para los paneles solares, el regulador de carga y el inversor que son los elementos que conforman un sistema fotovoltaico.

En la tabla 3.5, se observan los calibres de conductores que deben ser colocados para conectar los diferentes elementos.

**Tabla 3. 5:** Calibre de conductores AWG

Descripción	Ecuación	Resultado
Conductor para paneles fotovoltaicos	(3.10)	$S = 6.96 S$ 8 AWG
Conductor para regulador de carga	(3.10)	$S = 10,17 S$ 6 AWG
Conductor para el inversor	(3.10)	$S = 10,59 S$ 6 AWG
Conductor para la carga	(3.10)	$S = 7,20 S$ 8 AWG

En el Anexo XI, se observa el desarrollo matemático para determinar la sección que debe poseer el conductor en los distintos elementos que conforman el sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta que los mismos dispone la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Además, en el Anexo XII se observa la tabla AWG para realizar su respectiva selección en cuanto al calibre del conductor.

### 3.1.17 Selección del conductor en un sistema fotovoltaico

En la tabla 3.6, se observa la selección del conductor que deberá ser empleado en la conexión del sistema fotovoltaico ubicado en la terraza de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para lo cual mediante una ponderación del 1 al 5 se evaluará el más apropiado, siendo 1 el valor mínimo y 5 el máximo.

**Tabla 3. 6:** Parámetros de selección para conductores

Tipo de conductor	Características					
	Soporta corrientes y voltajes elevados	Mejor tipo de aislante	Manipulable	Accesibilidad en el mercado	Costos bajos	Total
Sólido	4	4	4	5	5	22
Flexible	5	5	5	5	4	24
Aluminio	5	5	3	5	3	21

La tabla anterior 3.6, muestra que el cable más adecuado para realizar conexiones a nivel de control industrial es el flexible con una ponderación de 24, siendo superiores al sólido y al de aluminio para dicha aplicación, por varias de sus características especialmente por soportar voltajes y corrientes altas, ser manipulable, accesible en el mercado y por el tipo de aislante con el que le fabrican, ya que en su mayoría suele ser THHN.

En el Anexo XIII, se puede observar las características que posee el cable flexible en cuanto a su temperatura y corriente que soporta.

Sin embargo, para las aplicaciones de lo que son sistemas fotovoltaicos para realizar las acometidas se emplean cable Solar Flex, ya que tiene propiedades muy eficientes en el instante de su uso, teniendo en cuenta que es unipolar, soporta temperaturas elevadas hasta 250° C, resistente al aceite, a rayos UV y fácil de manipularlo, en el Anexo XIV, se observan las características técnicas del cable SOLARFLEX.

### 3.1.18 Selección de protecciones para componentes de un sistema fotovoltaico

Las protecciones en un sistema fotovoltaico son consideradas de carácter obligatorio, ya que estas son las encargadas de que no afecten a circuito, por lo que, en la tabla 3.7, se observan la selección de las mismas, evaluadas con ponderaciones del 1 al 5, siendo 1 el valor mínimo y 5 el máximo.

**Tabla 3. 7:** Parámetros de selección para protecciones

Tipo de protecciones	Características						
	Protege sobrecargas	Protege cortocircuitos	Durabilidad	Robustos	Disponibilidad en el mercado	Costos bajos	Total
Fusibles	5	5	3	3	5	5	26
Termo-magnético	5	5	5	5	4	4	28

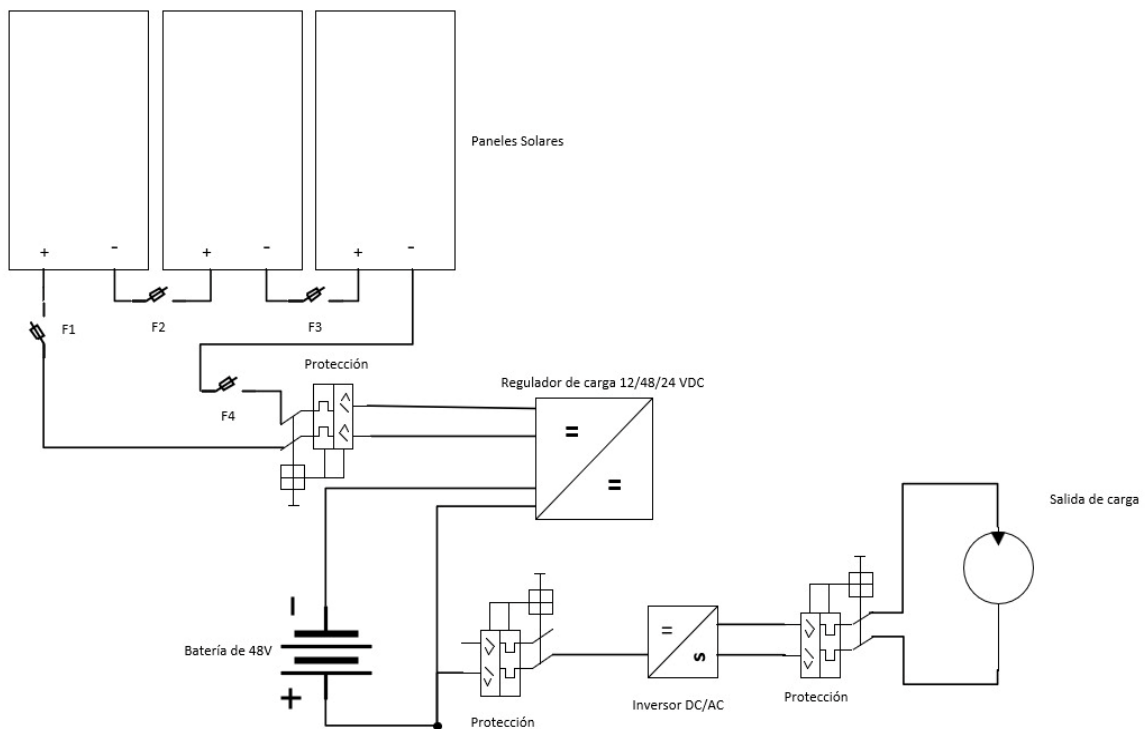
En la tabla anterior 3.7, se observa que la mejor protección para un sistema fotovoltaico es el termo-magnético con una ponderación de 28, mientras que el fusible tiene un valor de 26, por lo que se da a entender que termo-magnético dispone de ventajas en algunas características técnica, como por ejemplo en que es más robusto por lo que tiene mayor tiempo de durabilidad en la instalación.

Sin embargo, siempre se recomienda que las estaciones de paneles fotovoltaicos deben contar de con dos protecciones a la entrada del sistema, para tener mayor seguridad en cuenta a sobrecargas o cortocircuitos.

En el presente proyecto se emplearán termo-magnéticos para proteger los componentes principales como en este caso son el regulador de carga y el inversor.

### 3.1.19 Diagrama de conexión

En la siguiente figura 3.2, se puede observar el diagrama de conexión de los elementos electromecánicos y de control. Dicho diagrama es el que será implementado en el sistema de paneles fotovoltaicos. Además, se tiene que tener en cuenta que mediante la aplicación de los paneles solares se encenderá un calefactor de 1500 w.



**Figura 3. 2:** Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico

## 3.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.2.1 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico

La siguiente figura 3.3, muestra el diagrama unifilar de las protecciones del sistema fotovoltaico, el cual se lo realizó en el software ETAP versión estudiantil, con la finalidad de modelar el comportamiento del sistema y verificar la posición de los componentes en el mismo.

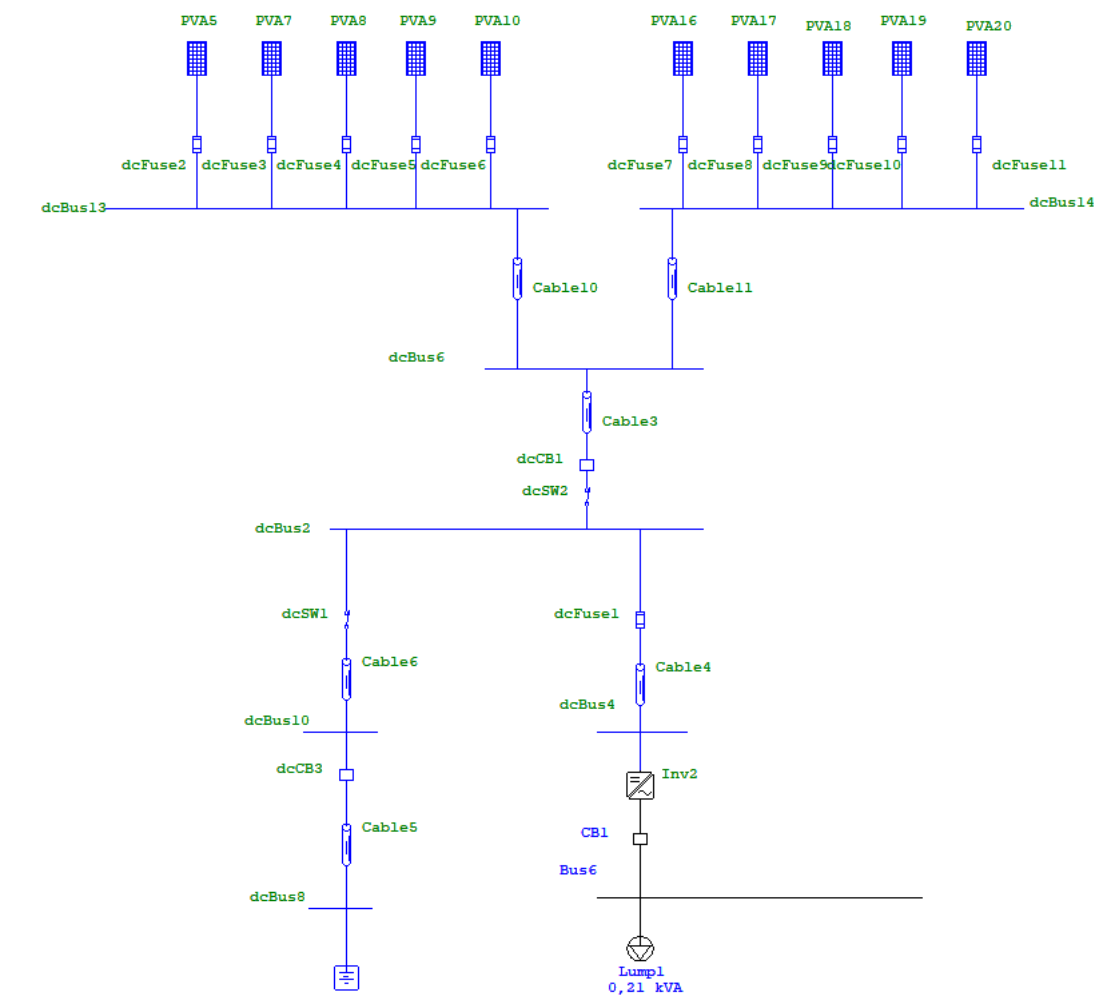


Figura 3.3: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico

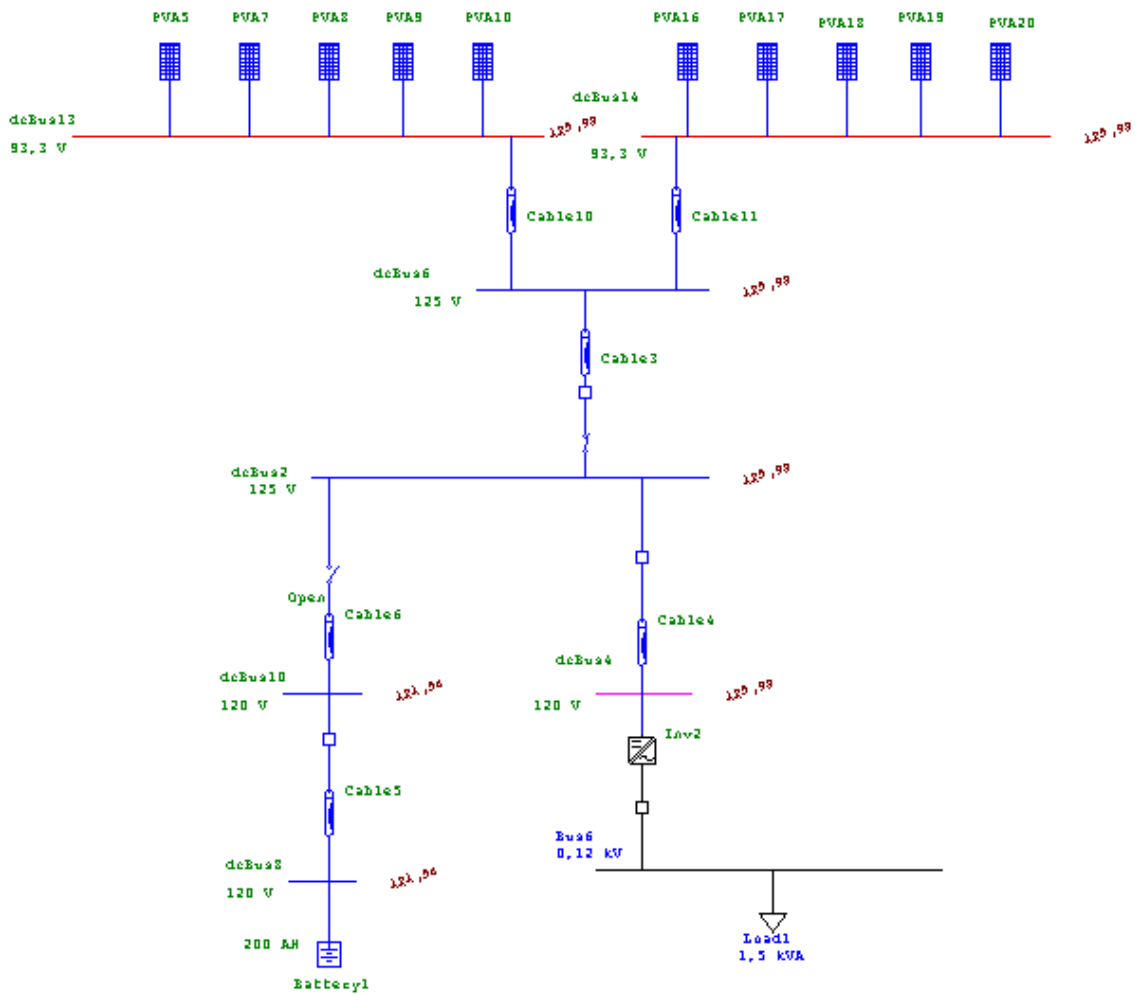
Como se observa en la figura anterior 3.3, los paneles están conectados cinco en serie por lo que se forman dos arreglos los cuales están en paralelo, mientras que las protecciones están instaladas antes del inversor, siendo este un termo-magnético para soportar sobrecargas y corto circuitos superiores a los 62.5 A. Además, en cuanto a la carga del sistema está conectado un calefactor con una potencia de 1500 W.

### 3.2.2 Simulación del diagrama del sistema fotovoltaico

A continuación, la siguiente figura 3.4, muestra la simulación en cuanto al flujo de carga que



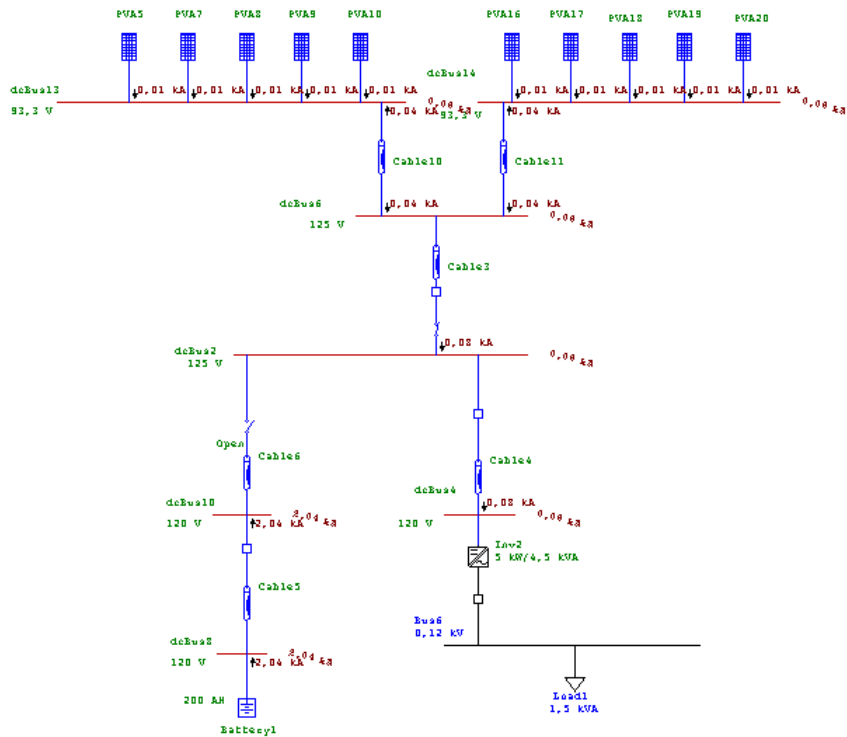
se genera con el arreglo mencionado en la tabla 3.2, ya que es el que permite generar el voltaje necesario de 120 Vcc para después ser convertido en voltaje de corriente alterna.



**Figura 3. 4:** Simulación de flujo de carga con paneles solares

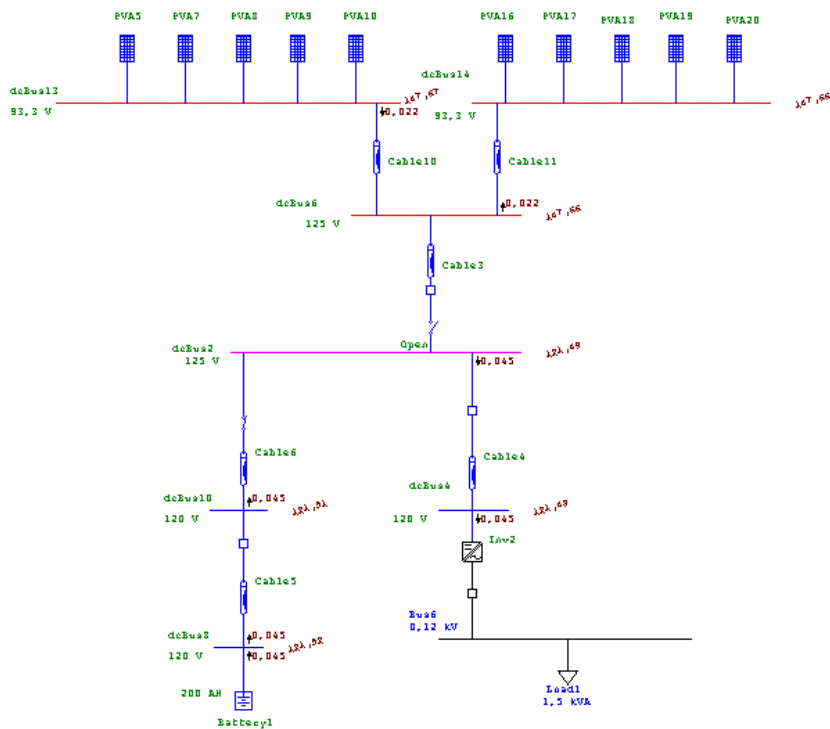
Como se observa en la figura 3.4, el voltaje que se genera a la salida del arreglo de los paneles solares es de 125.98 Vcc, los cuales ingresan en la misma cantidad al inversor, teniendo en cuenta que las protecciones no saltan debido a que están correctamente dimensionadas.

En la siguiente figura 3.5, se observa la simulación en cuanto al cortocircuito que se puede generar en las barras del sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta que la más afectada es la de los paneles solares con un valor de 0.08 kA



**Figura 3. 5** Simulación de corrientes de cortocircuito con paneles solares

En el caso que no llegarán actuar los paneles solares por algún problema de clima, el que llegara abastecer el sistema es el banco de baterías que se encuentra conectado al sistema, siendo el comportamiento como se observa en la siguiente figura 3.6.



**Figura 3. 6:** Simulación de flujo de carga con baterías

Como se puede observar en la figura anterior 3.6, existe caída de voltaje a la entrada del inversor en un 0.03%, lo que en realidad no afectaría al sistema fotovoltaico para que trabaje en condiciones normales.

Sin embargo, lo que respecta a la parte de cortocircuitos tendría mayor afectación al sistema, debido a que tiene una corriente elevada en las distintas barras del sistema, en la siguiente figura 3.7, se puede observar el respectivo comportamiento

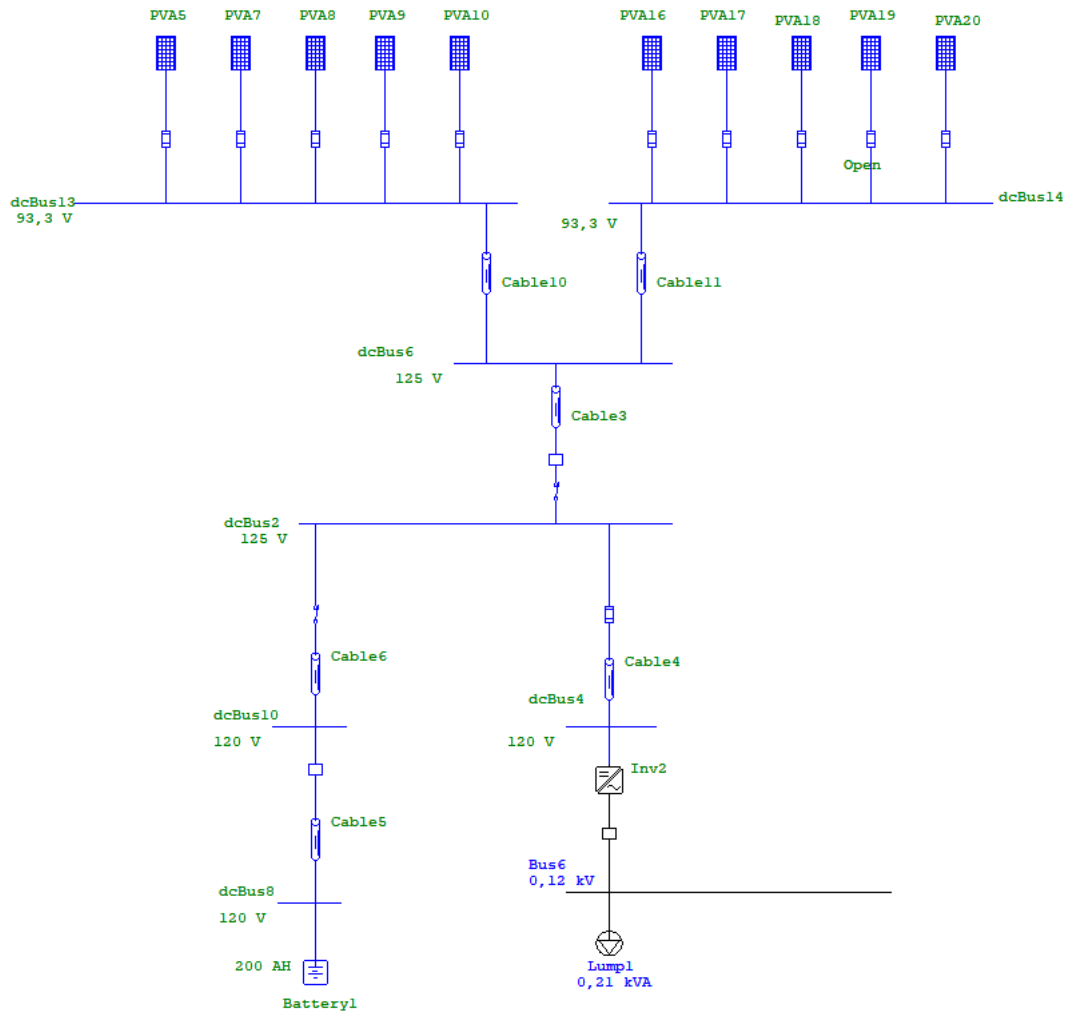
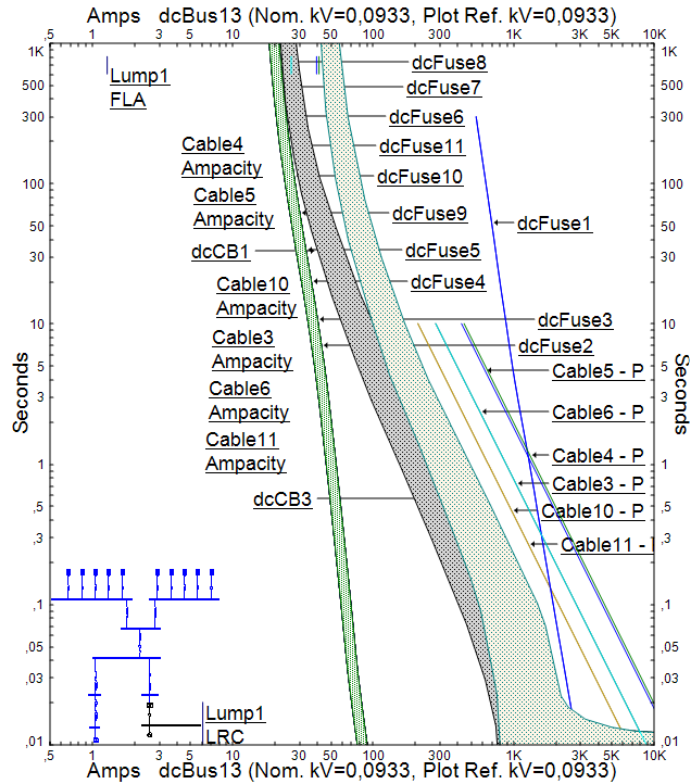


Figura 3. 7: Simulación de corrientes de cortocircuito con baterías

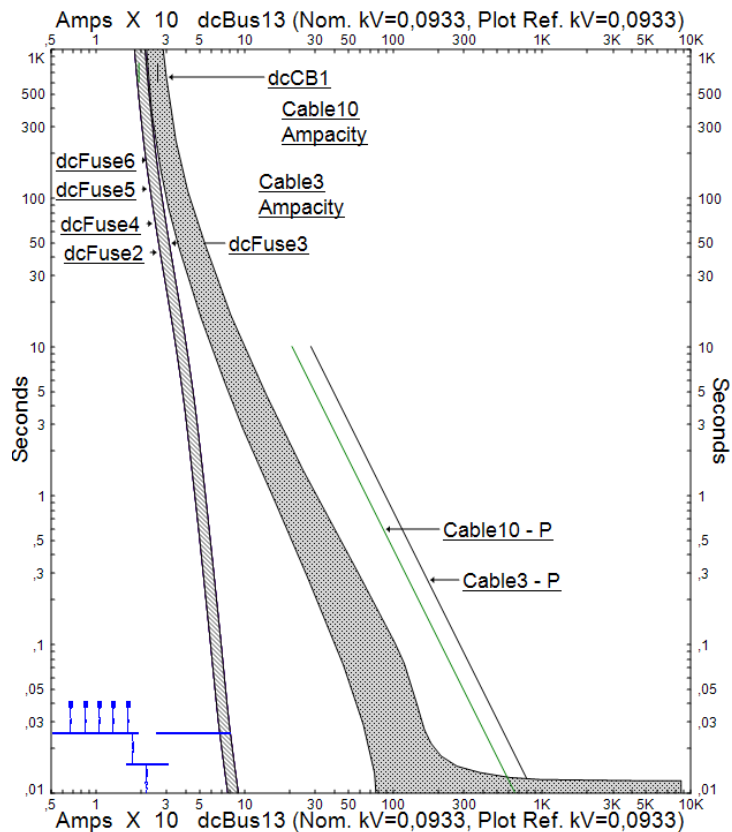
### 3.2.3 Estudio de coordinación de protecciones

La siguiente figura 3.8, se muestra la coordinación de todo el sistema fotovoltaico con sus debidas protecciones.



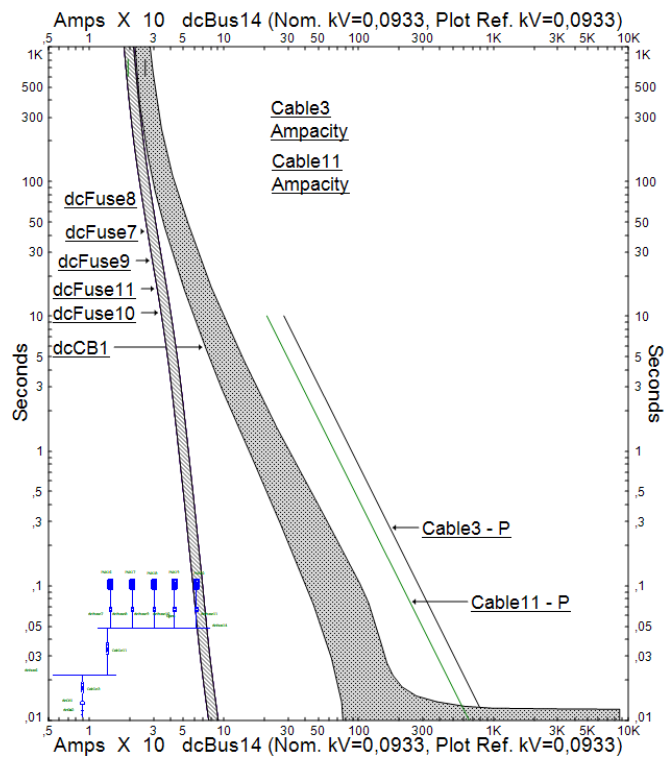
**Figura 3. 8:** Coordinación de todo el sistema fotovoltaico

A continuación, en la figura 3.9, se observa la coordinación de protecciones de la parte fija que está ubicada en la terraza de la Universidad Técnica de Cotopaxi.



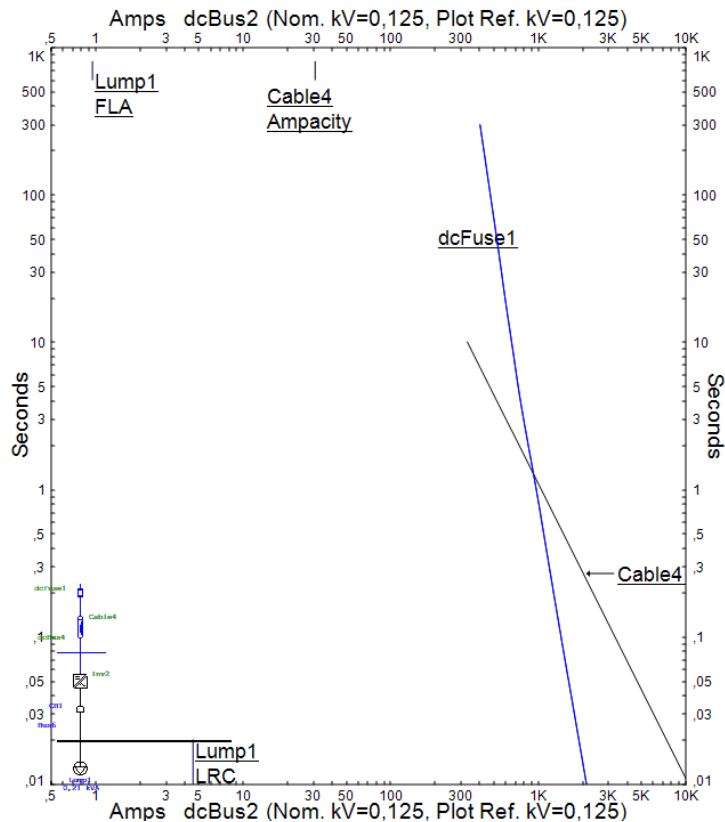
**Figura 3. 9:** Coordinación de la parte fija

A continuación, en la figura 3.10, se observa la coordinación de protecciones de la parte móvil que está ubicada en la terraza de la Universidad Técnica de Cotopaxi.



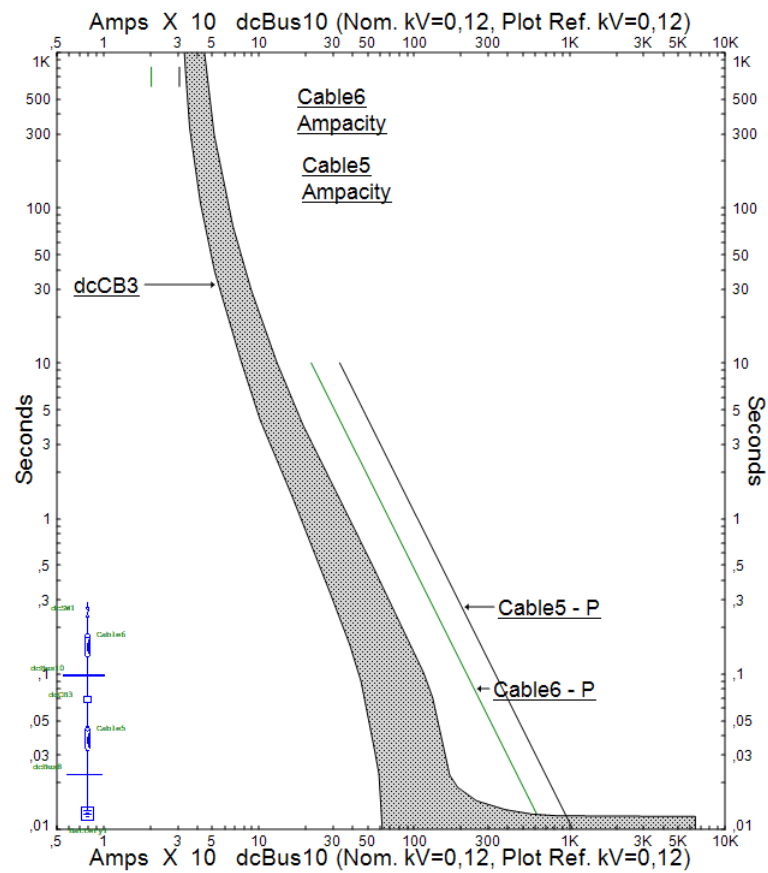
**Figura 3. 10:** Coordinación de la parte móvil

En la siguiente figura 3.11, observamos el estudio de coordinación en la parte del inversor.



**Figura 3. 11:** Coordinación de la parte del inversor

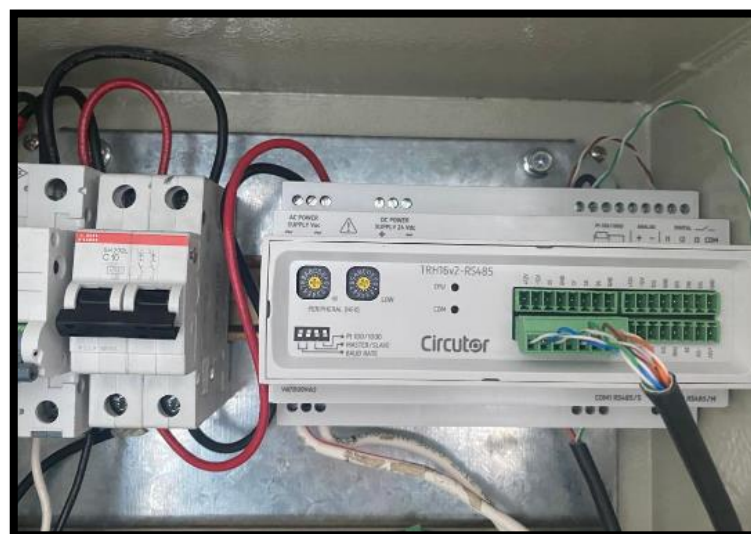
A continuación, en la siguiente figura 3.12, observamos el estudio de coordinación de protecciones en la batería.



**Figura 3. 12:** Coordinación de la parte de la batería

### 3.2.4 Implementación de protecciones

En la siguiente figura 3.13, se observa la implementación de las protecciones mencionadas anteriormente para soportar sobrecarga y cortocircuitos en el sistema de paneles fotovoltaicos.



**Figura 3. 13:** Implementación de protecciones

A continuación, en la siguiente figura 3.14, se observa el armado del tablero de control, con su respectivo cableado a todos los equipos de control y las protecciones, teniendo en consideración que se empleó cable flexible como se mencionó anteriormente en la tabla 3.6.



**Figura 3. 14:** Armado de tablero de control

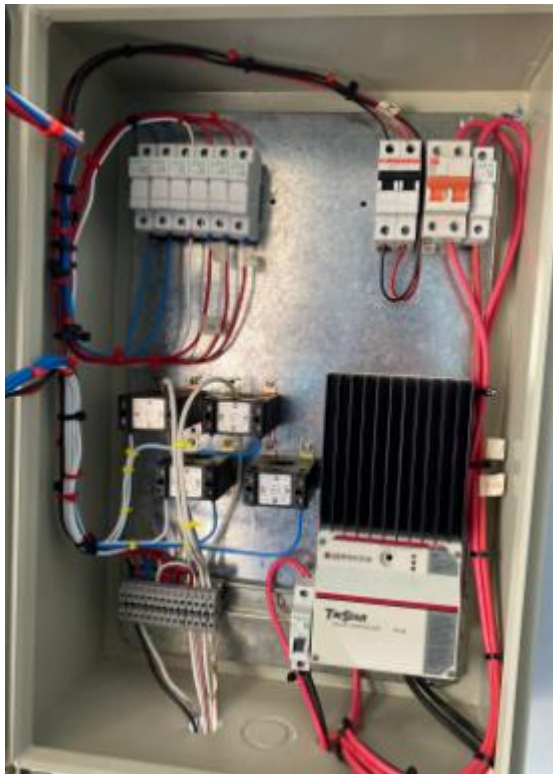
En la siguiente figura, se puede observar la conexión del M/TR-25 Acc X4 el cual es un dispositivo electrónico que tiene la función de un analizador para medir hasta 16 strings fotovoltaicos en corriente continua. Dicho dispositivo es ideal y versátil para medir diferentes niveles de corriente, esto depende del sensor que se encuentre a las entradas del mismo.



**Figura 3. 15:** Conexión del dispositivo M/TR-25 Acc X4

El Tri Star fue conectado con sus respectivas protecciones contra sobrecarga, en este caso son los termo-magnético, teniendo en cuenta que la función del dispositivo es realizar un control de

carga y regular la misma. Por lo tanto, en la siguiente figura 3.16, se observa la conexión de dicho dispositivo electrónico en el tablero de control de la Universidad Técnica de Cotopaxi.



**Figura 3. 16.** Conexión del dispositivo Tri Star

En los Anexos XV, XVI y XVII, se observan las conexiones y verificaciones realizadas en campo de la implementación de las protecciones para el sistema fotovoltaico. Además, se observan las mediciones de voltaje de los paneles solares.

### 3.2.5 Resumen de protecciones seleccionadas

En la siguiente tabla 3.8, se observan las protecciones seleccionadas para realizar la implementación en el sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta que dichos elementos son comerciales a nivel nacional, lo que conlleva a tener mayor rapidez y facilidad de realizar el trabajo.

**Tabla 3. 8:** Protecciones utilizadas en el sistema fotovoltaico

PROTECCIONES	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
Termo-magnético	8 Amp	12
Fusibles	4 Amp	10
Porta fusibles		8
Protector contra sobre tensiones	500 VDC	1



### 3.2.6 Análisis de costos para la implementación

Para realizar el conexionado de las protecciones del sistema fotovoltaico, se realizó la compra de varios materiales, los cuales se los puede observar en la siguiente tabla. Además, dichos materiales son de importancia para verificar y comprobar que inversión se realizó en el transcurso de la ejecución del proyecto.

**Tabla 3. 9:** Costos de materiales eléctricos

Material	Unidad	Cantidad	Costo
Cable solar flex negro	GLB	1	215,00
Cable solar flex rojo	GLB	1	310,00
Conector MC4	U	1	75,00
Termo magnético	U	1	23,00
Gabinete metálico	U	3	160,83
Caja borneras riel dim 12 AWG	U	1	71,40
Borneras riel dim 10 AWG	U	10	13,10
Riel dim	M	1	1,32
Portafusibles	U	11	16,89
		<b>TOTAL</b>	<b>\$886,54</b>

En la tabla anterior, se puede observar que los costos para la implementación de protecciones en el sistema fotovoltaico es de 681\$ dólares americanos, teniendo en cuenta que el monto es netamente de componentes y materiales eléctricos.

A continuación, en la tabla 3.9 se muestran los valores en lo que respecta a costos de ingeniería debido a que es el profesional que realiza un levantamiento exhaustivo de las instalaciones del lugar en donde se realizara la instalación de protecciones eléctricas y la mano de obra que consiste en los técnicos que ejecutarán las actividades.

**Tabla 3. 10:** Costos de materiales eléctricos

Descripción	Costo
Mano de obra	750,00
Ingeniería	900,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$1.650,00</b>

Por lo tanto, en la tabla anterior 3.10, se observan los valores en cuanto a la mano de obra que se necesitaría para ejecutar dicho trabajo, teniendo un costo total de 1.650 \$ dólares americanos.

Por lo que se puede concluir que para realizar la implementación de las protecciones eléctricas en el sistema fotovoltaico de la Universidad Técnica de Cotopaxi se necesitaría de 2.331,54 \$ dólares americanos, cabe recalcar que son únicamente costos de material eléctrico y mano de obra.

## **4 Conclusiones y recomendaciones**

### **4.1 Conclusiones**

- Mediante la investigación bibliográfica desarrollada en la presente propuesta tecnológica, se determinó que existe una variedad en cuanto a elementos de protección para sistemas fotovoltaicos, teniendo en cuenta que son los protectores contra sobretensiones y los fusibles. Además, se revisó la regulación actual del ARCONEL en cuanto a voltajes.
- Una vez concluido el levantamiento de equipos disponibles en el laboratorio se determina las características de los mismos, obteniendo así los parámetros de funcionamiento además de los voltajes permisibles a los que pueden trabajar de manera óptima, un claro ejemplo es del inversor Power Star W7 de 2000w, regulador de carga Tri Star TS-60 a 48 V, 4 baterías de 12 V y 3 paneles de 140 W.
- Mediante cálculos matemáticos se determinó que la potencia máxima de disipación en el sistema fotovoltaico es de 1.4 kW, por lo tanto, se da a entender que el sistema para lo autosuficiente para abastecer una carga de 1500 w, se deduce que el sistema es monofásico.
- Mediante la simulación de ETAP se obtuvo un valor de 121.63 v de corriente, mismo que tiene que ser convertido a voltaje de corriente alterna, por lo tanto, se tiene en consideración que la carga activarse trabaja a 120V por lo que se puede concluir que el circuito está correctamente realizado.

### **4.2 Recomendaciones**

- Analizar todo el sistema fotovoltaico mediante otro tipo de arreglo, para determinar si existe mayor potencia o disminución de la misma en el instante que sea conectada la carga.
- Implementar seguidores solares en el sistema fotovoltaica, para poder aprovechar al máximo la energía solar y así analizar hasta que tipo de carga se puede instalar en el mismo.

- Se recomienda implementar un sistema SCADA para el sistema fotovoltaico con la finalidad de verificar un consumo energético de la carga a instalar

## 5 Bibliografía

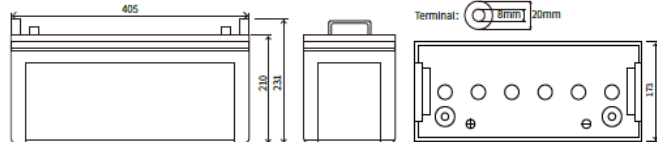
- [1] I. H. R. LÓPEZ., *DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO A LA RED PARA EL AREA DE ESTACIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE SALAMANCA*, 2014.
- [2] A. Peña, D. Gutierrez y F. Caldas, «Diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica con potencia activa de 1 KW,» Colombia, 2017.
- [3] C. Grijalva y F. Velez, «Estudio e implementacion de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias,» Guayaquil, 2020.
- [4] H. Ramos y L. Rafael, «Diseño de sistema fotovoltaico integrado a la red,» Mexico , 2014.
- [5] A. Ceriz, «Estudio de la confiabilidad de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador,» Guayaquil, 2010.
- [6] D. Robalino, «Diseño y simulacion de un sistema fotovoltaico,» Ambato, 2017.
- [7] Sopelia, «Solar Fotovoltaica Ecuador,» 26 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.energiasolar.lat/solar-fotovoltaica-ecuador/>. [Último acceso: 1 Agosto 2022].
- [8] Pais en vivo , «Energía solar,» 29 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://paisenvivo.com/energa-solar-genera-28-mw-en-imbabura/>. [Último acceso: 1 Agosto 2022].
- [9] ENF, «ENFSOLAR,» 27 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://es.enfsolar.com/simax>. [Último acceso: 27 Septiembre 2022].
- [10] J. Chicaiza y O. Quisaguano, «Estudio técnico del consumo de energía eléctrica en el edificio El Rey,» Cuenca, 2018.
- [11] Monsolar, «Reguladores de cargas solares,» 11 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.monsolar.com/blog/como-funcionan-los-reguladores-de-carga-solares-pwm-y-mppt/#:~:text=En%20toda%20instalaci%C3%B3n%20fotovoltaica%20aislada,PWM%20y%20los%20reguladores%20MPPT..> [Último acceso: 4 Agosto 2022].
- [12] Quitoled, «Controlador Regulador Carga Solar,» 23 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.quitoled.com/producto/controlador-regulador-carga-solar-pwm-10a-20a-12-24v-usb-lcd/>. [Último acceso: 17 Agosto 2022].
- [13] Solartec, «Controlador solar de tres funciones TriStar,» 5 Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://solartec.com.ar/documentos/productos/TS.pdf>. [Último acceso: 17 Agosto 2022].
- [14] natura energy, «Inversor Cargador Power Star 3000W,» 18 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.naturaenergy.cl/product/inversor-cargador-power-star-3000w-48v-220v#:~:text=La%20serie%20LW%20de%20Power,u%20otros%20de%20hasta%203HP..> [Último acceso: 16 Agosto 2022].
- [15] Monsolar, «Regulador pwm,» 16 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.monsolar.com/regulador-blue-solar-victron-pwm-light-12-24v-20a.html>. [Último acceso: 4 Agosto 2022].
- [16] Enseconil, «Elementos de un sistema fotovoltaico,» 4 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://enseconil.com/elementos-de-un-sistema-fotovoltaico/>. [Último acceso: 2 Agosto 2022].
- [17] Ecofener, «Baterías agm y gel,» 4 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://ecofener.com/blog/diferencias-baterias-agm-y-gel/>. [Último acceso: 3 Agosto 2022].
- [18] Enel, «Sistema fotovoltaico industrial,» 2018. [En línea]. Available: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/what-is-an-industrial-photovoltaic->



- [36] Helioesfera, «Instalacion fotovoltaica aislada,» 2 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/>. [Último acceso: 3 Agosto 2022].

ANEXO I

Ficha técnica de la batería 6-  
CNJ 120



### Technology data

Rated voltage	Capacity (10hr, 1.80V/Cell)	Weight	Max discharge current	Max charging current	Self-discharge (25°C)	Recommended Using temperature	Cover Material
12V	120Ah	32Kg	30I <sub>10</sub> A(3min)	≤0.25C <sub>10</sub>	≤3%/month	15°C~25°C	ABS
Using temperature	Charging Voltage (25°C)	Charging Mode (25°C)		Cycle life	Capacity Affected by Temperature		
Discharge: -45°C~50°C	floating charge:	Float Charge: 2.275±0.025V/Cell		100%DOD 572 times	105% @ 40°C		
Charge: -20°C~45°C	13.5V-13.8V	Temperature parameters: ±3mV/Cell °C		50%DOD 1422 times	80% @ 0°C		
Storage: -30°C~40°C	equalizing charge:	Cycle Charge: 2.45±0.05V/Cell		30%DOD 2218 times	58% @ -20°C		
	14.1V-14.4V	Temperature Compensation Coefficient ±5mV/Cell °C					

### Features

battery, Maintenance free and easy to use, Contemporary advanced technology research and development of new high-performance batteries, It can be widely used in solar energy, wind energy, telecommunication systems, off-grid systems, UPS and other fields. The designed life for the battery could be eight years up for float use.

### Different discharge time at different terminal Voltage, discharge time(Amps, 25)

Termination Voltage (V/Cell)	1H	3H	5H	10H	20H	50H	100H	120H	240H
1.7	53.10	24.14	16.13	10.41	5.38	2.26	1.23	1.09	0.57
1.75	52.04	23.89	15.85	10.26	5.25	2.17	1.15	1.01	0.53
1.8	51.00	23.67	15.60	10.00	5.13	2.10	1.10	0.95	0.51
1.85	48.96	23.53	15.30	9.59	4.88	2.01	1.03	0.89	0.46
1.9	47.01	23.33	15.07	9.39	4.79	1.95	0.99	0.85	0.43
1.95	44.94	22.86	14.76	9.87	4.46	1.81	0.94	0.81	0.41

Constant current discharge coefficient(25°C, A)

### Certificate

ISO9001  
ISO14001  
CE  
CGC  
TLC  
High and NEW  
Technology  
Products Certification

**ANEXO II**

Verificación de estado de las  
baterías



CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Dimensión del conector MC4

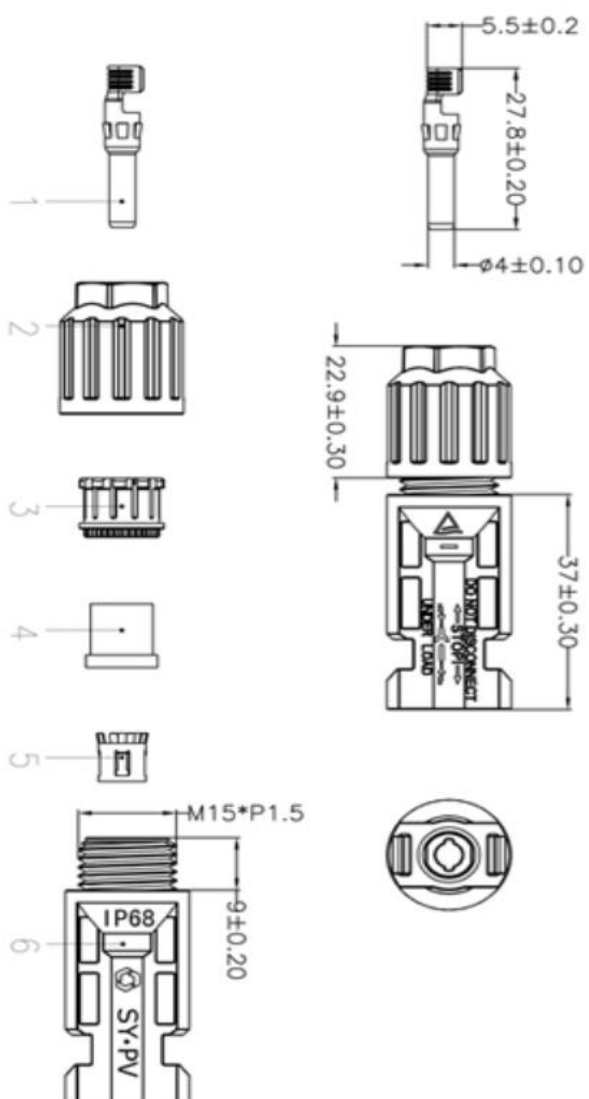
No.	Product NO.	Product Name	QTY	Colour	Material	Dimension	Tolerance	NAME
1	CP4A-M010-01	φ4.0 male terminal	1	White	Copper	0~30.00	±0.05	PV φ4.0 Cable Male Connector
2	C4D-P003-00	M15 Turncap	1	Black	PP0	30.00~60.00	±0.10	
3	C4D-P004-00	Cable Holder	1	Black	PC	60.00~90.00	±0.15	
4	C4D-S006-00	φ11.0*11 Waterproof Ring	1	White	Silicone	90.00~120.00	±0.20	
5	CP4A-M004-00	Shrapnel	1	White	SUS304	120.00~	±0.25	
6	C4D-P001-00	φ4.0 Cable Male Connector Housing	1	Black	PP0			

Dimension	Tolerance
0~30.00	±0.05
30.00~60.00	±0.10
60.00~90.00	±0.15
90.00~120.00	±0.20
120.00~	±0.25

NAME	PRODUCT NUMBER
PV φ4.0 Cable Male Connector	C4D-M001

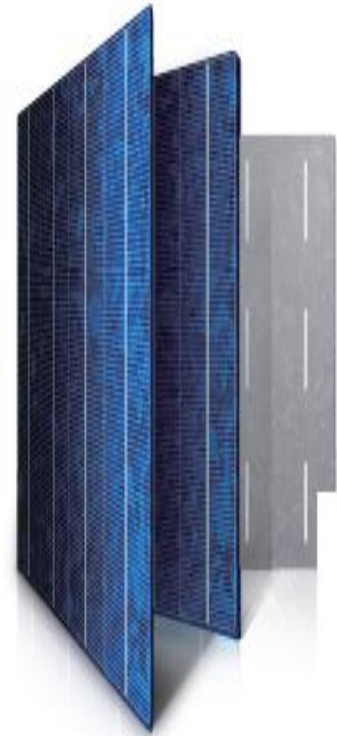
  






## Multicrystalline Solar Cells

Simax Solar's High-efficiency Poly Cells. Manufacturing more than 270Wp(6×10) and 320Wp(6×12) power output becomes easier than ever.



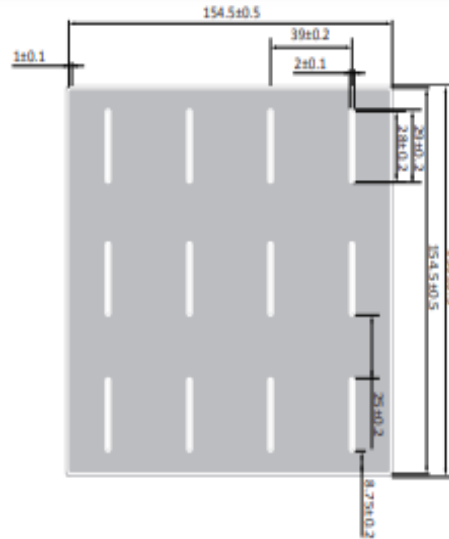
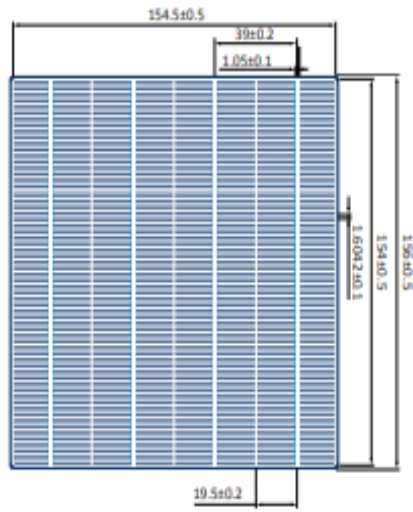
Appearance	
Size	156mm×156mm±0.5mm
Thickness	210µm±20µm
Front (-)	Silicon nitride anti-reflection film
	Width of busbar 1.05mm
Back (+)	Al-back surface field (Al-BSF)
	Width 2 mm

Temperature coefficients	
Open-circuit voltage temperature coefficient	-0.36%/K
Short-circuit current temperature coefficient	0.07%/K
Max. power temperature coefficient	-0.38%/K

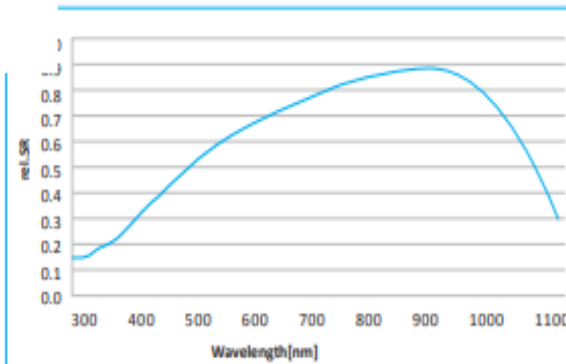
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**ANEXO V**

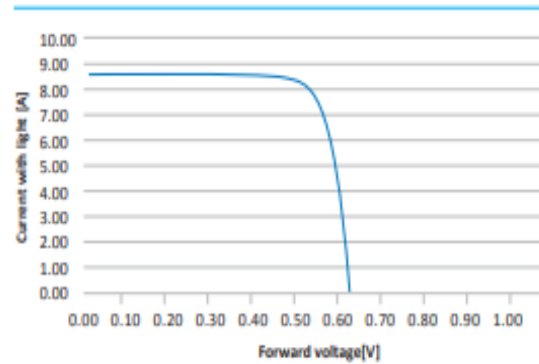
Ficha técnica del panel solar 140 W



**ral response**



**I-V curve**



**Low light performance**

illumination intensity [W/m <sup>2</sup> ]	V <sub>pm</sub>	I <sub>pm</sub>
1000	1.000	1.000
800	0.990	0.800
600	0.978	0.600
200	0.930	0.200
100	0.900	0.100
60	0.878	0.060
30	0.848	0.030

ANEXO VI

Ficha técnica del calefactor 1500 W



**FICHA TÉCNICA**

Características	750 / 1500W además solo ventilación Termostato ajustable Control de perilla giratoria Diseño compacto Sistema automático de protección contra sobrecalentamiento Interruptor de seguridad que detecta volcaduras
Dimensiones del producto	27 x 23 x 14 cm
Potencia	750 / 1500W

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANEXO VII

Cálculos de potencia y corriente  
producidas en los paneles solares

$$P_{max \text{ arreglo}} = N \cdot P_m$$
$$P_{max \text{ arreglo}} = 10 \cdot 140W$$
$$P_{max \text{ arreglo}} = 1400 W$$

$$V_{oc \text{ arreglo}} = N_{AS} \cdot V_{oc}$$
$$V_{oc \text{ arreglo}} = 5 \cdot 21.8 V$$
$$V_{oc \text{ arreglo}} = 109 V$$

$$V_{mp \text{ arreglo}} = N \cdot V_{mp}$$
$$V_{mp \text{ arreglo}} = 5 \cdot 17.8 V$$
$$V_{mp \text{ arreglo}} = 89 V$$

$$I_{sc \text{ arreglo}} = N_{AP} \cdot I_{sc}$$
$$I_{sc \text{ arreglo}} = 2 \cdot 8.56 A$$
$$I_{sc \text{ arreglo}} = 17.12 A$$

$$I_{mp \text{ arreglo}} = N_{AP} \cdot I_{mp}$$
$$I_{mp \text{ arreglo}} = 2 \cdot 7.87 A$$
$$I_{mp \text{ arreglo}} = 15.74 A$$

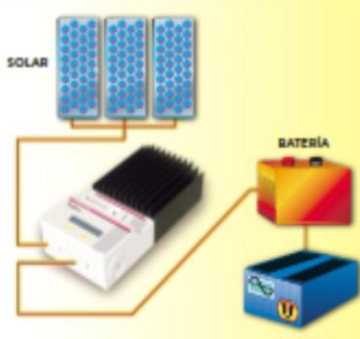
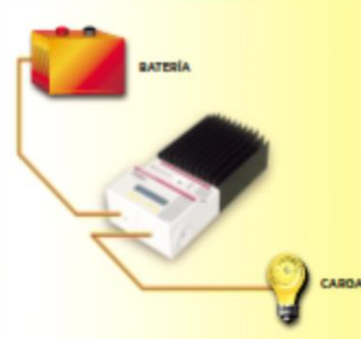
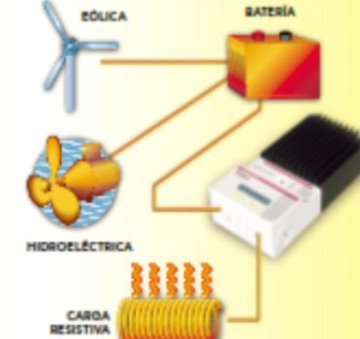




**ANEXO VIII**

Cálculos de voltaje y potencia en  
el regulador d carga

$$V_p = 1.15 \cdot V_c$$
$$V_p = 1.15 \cdot 48 V$$
$$V_p = 55.2 V$$

$$P = V_p \cdot I$$
$$P = 55.2 V \cdot 60 A$$
$$P = 3312 W$$

CONTROL DE CARGA	CONTROL DE CARGA	CONTROL DE DERIVACION
 <p>SOLAR</p> <p>BATERÍA</p> <p>INVERSOR</p>	 <p>BATERÍA</p> <p>CARGA</p>	 <p>EÓLICA</p> <p>BATERÍA</p> <p>HIDROELÉCTRICA</p> <p>CARGA RESISTIVA</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño PWM (Modulación por ancho de pulso) en serie, de voltaje constante para suministrar una carga de batería altamente eficiente</li> <li>• Cuatro etapas de carga para incrementar la capacidad y vida útil de la batería: carga masiva, PWM regulación, flotante y de equalización.</li> <li>• En paralelo para conjuntos solares más grandes de hasta 300 A, o más</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite arrancar grandes cargas incluyendo motores y bombas sin daños para el controlador</li> <li>• Permite picos de corriente de arranque de hasta 300 A</li> <li>• Protección contra cortocircuitos y sobrecarga con reconexión automática</li> <li>• El LVD está compensado por corriente y tiene una demora para evitar falsas desconexiones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ser usado para carga solar, eólica o hidroeléctrica</li> <li>• Para proteger contra sobrecarga de la batería, el exceso de energía es derivado de la batería primaria a una batería secundaria o a una carga resistiva alternativa de CC</li> <li>• PWM reduce la potencia hacia la carga de derivación durante las condiciones de exceso de corriente</li> </ul>
<p><b>Especificaciones eléctricas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corriente nominal solar en carga o en derivación: TriStar-45 45A TriStar-60 60A</li> <li>• Voltaje del sistema 12-48V</li> <li>• Precisión 12/24V: <math>\leq 0.1\% \pm 50\text{mV}</math> 48V: <math>\leq 0.1\% \pm 100\text{mV}</math></li> <li>• Voltaje mínimo para operar 9V</li> <li>• Máximo voltaje solar (Voc) 125V</li> <li>• Consumo propio: Controlador &lt;20mA Medidor 7.5mA</li> </ul>	<p><b>Protecciones electrónicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección contra polaridad invertida (cualquier combinación)</li> <li>• Protección ante cortocircuitos</li> <li>• Protección contra excesos de corriente</li> <li>• Protección contra rayos y picos de tensión, usando supresores de transitorios de voltaje de 4500 W</li> <li>• Protección contra alta temperatura a través de una reducción automática de corriente o apagado completo</li> <li>• Previene corrientes en reversa desde la batería por la noche.</li> </ul>	<p><b>Opciones del TriStar:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Medidor del TriStar</b> — Visor de 2 x 16 montado al controlador que proporciona información del sistema y el controlador, adquisición de datos, gráficos de barras y elección de 5 idiomas</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Medidor remoto del TriStar</b> — Incluye 30 metros de cable para el montaje del medidor a distancia del controlador</li> <li>• <b>Sensor remoto de temperatura</b> — Proporciona una carga compensada en temperatura mediante la medición de la temperatura en la batería (cable de 10 metros)</li> </ul>
<p><b>Especificaciones ambientales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura del ambiente de operación: Controlador <math>-40^{\circ}\text{C}</math> a <math>+45^{\circ}\text{C}</math> Medidor <math>-40^{\circ}\text{C}</math> a <math>+60^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>	<p><b>Especificaciones mecánicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensiones: Altura: 26.0cm/10.3 pulgadas Ancho: 12.7cm/5.0 pulgadas Profundidad: 7.1cm/2.8 pulgadas</li> </ul>	<p><b>Certificaciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumple con CE</li> <li>• Listado en UL (UL 1741)</li> </ul> 

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE  
COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y  
APLICADAS



Ingeniería  
Electromecánica

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANEXO X

Cálculos de corriente continua y  
alterna del inversor

$$I_{cc} = \frac{P_i}{V_{cc}}$$
$$I_{cc} = \frac{2000 \text{ W}}{48 \text{ V}}$$
$$I_{cc} = 41.66 \text{ A}$$

$$I_{cc} = \frac{P_i}{V_{ca}}$$
$$I_{cc} = \frac{2000 \text{ W}}{120 \text{ V}}$$
$$I_{cc} = 16.6 \text{ A}$$

**Panel fotovoltaico**

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\sigma \cdot \Delta V}$$

$$S = \frac{2 \cdot 17.12 \text{ A} \cdot 12 \text{ m}}{59 \frac{\text{S}}{\text{m}} \cdot 1 \text{ V}}$$

$$S = 6.96 \text{ S}$$

**Regulador de carga**

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\sigma \cdot \Delta V}$$

$$S = \frac{2 \cdot 60 \text{ A} \cdot 5 \text{ m}}{59 \frac{\text{S}}{\text{m}} \cdot 1 \text{ V}}$$

$$S = 10.17 \text{ S}$$

**Inversor**

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\sigma \cdot \Delta V}$$

$$S = \frac{2 \cdot 62.5 \text{ A} \cdot 5 \text{ m}}{59 \frac{\text{S}}{\text{m}} \cdot 1 \text{ V}}$$

$$S = 10.59 \text{ S}$$

**Carga**

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot L \cdot \cos \varphi}{\sigma \cdot \Delta V}$$

$$S = \frac{2 \cdot 25 \text{ A} \cdot 50 \text{ m} \cdot 0.85}{59 \frac{\text{S}}{\text{m}} \cdot 5 \text{ V}}$$

$$S = 7.20 \text{ S}$$



# INDECO

## CAPACIDAD DE CORRIENTE

CALIBRE AWG/MCM	SECCION mm <sup>2</sup>	AIRE				
		TW-70	THW-75	TW-90	THW-90	THHW-90
14	2.08	25	30	28	35	35
	2.5	27	32	30	37	37
12	3.31	30	35	33	40	40
	4	32	40	35	45	45
10	5.26	40	50	44	56	56
	6	45	52	50	61	61
8	8.37	60	70	66	80	80
	10	67	78	74	88	88
6	13.3	80	95	88	107	107
	16	90	110	99	124	124
4	21.15	105	125	118	141	141
	25	120	140	132	158	158
2	33.62	140	170	154	192	192
	35	150	175	165	197	197
1/0	53.49	185	215	204	245	245
	59.49	195	230	215	260	260
2/0	67.43	225	265	248	300	300
	70	230	270	253	307	307
3/0	85.01	260	310	286	350	350
	95	275	330	303	375	375
4/0	107.2	300	360	330	406	406
	120	320	380	352	437	437
250	127	340	405	374	457	457
	150	375	440	413	501	501

ANEXO XIII

Cable flexible

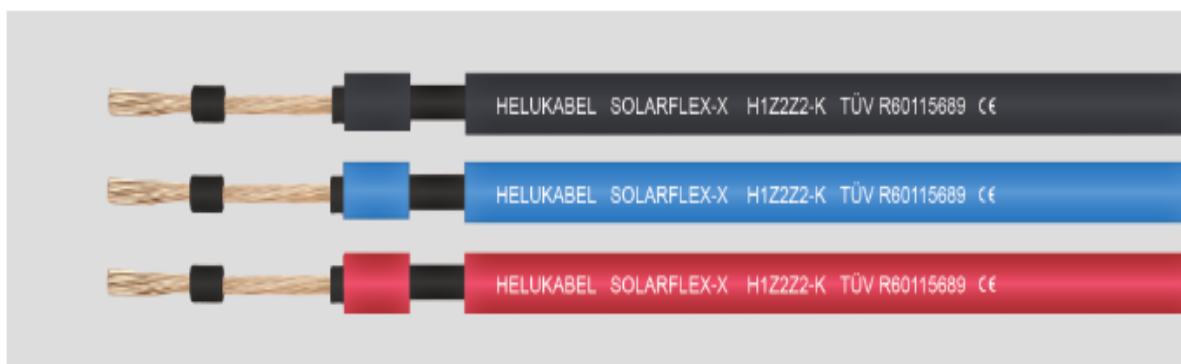
Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A	18 AWG	10 A
				16 AWG	13 A
				14 AWG	18 A
				12 AWG	25 A

**ANEXO XIV**

Ficha técnica del cable  
SOLARFLEX

# SOLARFLEX®-X H1Z2Z2-K

**1500 V DC, EN 50618**



## Application

The SOLARFLEX®-X is used for cabling solar modules.

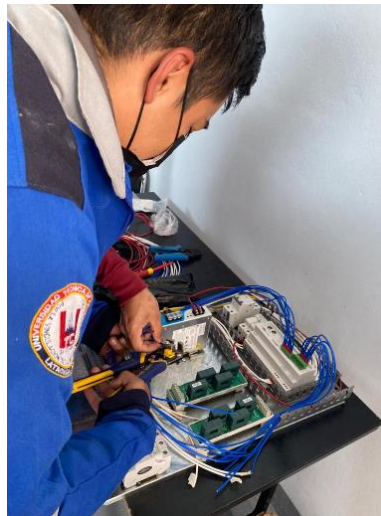
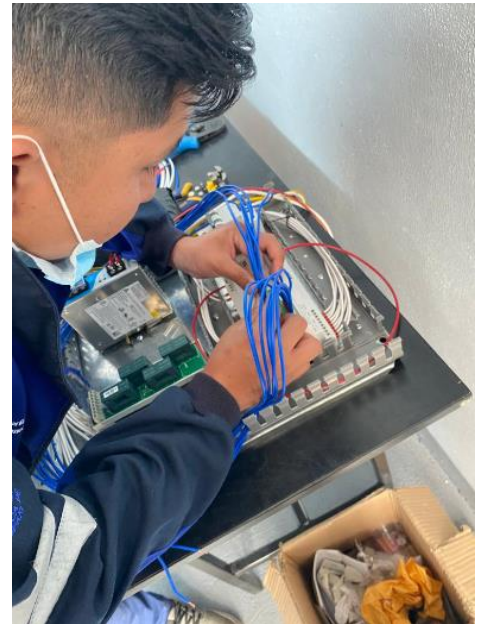
CE = Product conforms with Low-Voltage Directive 2014/35/EU.

Part no.	No. cores x cross-sec. mm <sup>2</sup>	Sheath colour	Outer Ø app. mm	Cop. weight kg / km	Weight app. kg / km	AWG-No.
713529	1 x 2,5	black	5,0	24,0	41,0	14
713544	1 x 2,5	blue	5,0	24,0	41,0	14
713543	1 x 2,5	red	5,0	24,0	41,0	14
713530	1 x 4	black	5,4	38,4	55,0	12
713546	1 x 4	blue	5,4	38,4	55,0	12
713545	1 x 4	red	5,4	38,4	55,0	12
713531	1 x 6	black	6,2	57,6	82,0	10
713570	1 x 6	blue	6,2	57,6	82,0	10
713569	1 x 6	red	6,2	57,6	82,0	10
713532	1 x 10	black	7,4	96,0	123,0	8
713572	1 x 10	blue	7,4	96,0	123,0	8
713571	1 x 10	red	7,4	96,0	123,0	8

Dimensions and specifications may be changed without prior notice.

**ANEXO XV**

**Conexión de cableado**



**ANEXO XVI**

Medida de voltaje en los paneles



**ANEXO XVII**

