

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DISEÑO DE UN SISTEMA AISLADO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS DEL LTI- ESFOT

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGO SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA**

Stalin Lenin Reyes Soledispa

stalin.reyes@epn.edu.ec

Erick David Velez Vera

erick.velez@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ, MSC.

alan.cuenca@epn.edu.ec

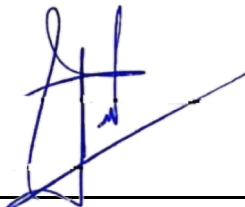
CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA, MSC.

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, enero 2022

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Reyes Soledispa Stalin Lenin y Velez Vera Erick David como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA, bajo nuestra supervisión:



Ing. Alan Cuenca, Msc.

DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Carlos Romo, Msc.

CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros Reyes Soledispa Stalin Lenin con CI: 1726472812 y Velez Vera Erick David con CI: 1725837361 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

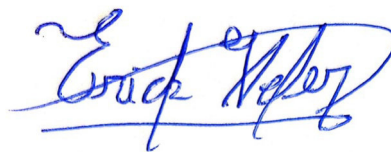
Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Stalin Reyes

ESTUDIANTE



Erick Velez

ESTUDIANTE

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a mis padres Lucía y Juan Carlos, por siempre apoyarme incondicionalmente a lo largo de mi carrera por educarme en todos los principios del bien forjándome una persona perseverante y correcta en cada momento, a mi madre por su apoyo cariño y aprecio desde la distancia que se encuentra siempre velando por mi bienestar y salud, dándome ánimos en cada momento, a mi padre por estar al pendiente en mi carrera en todo momento cuidando de mí.

A mi hermana María José por ser parte de mi vida, cuidándonos uno al otro en cada situación que se presente.

A mis padrinos Genaro y Luisa, por siempre estar al pendiente de mi en cada momento siempre dándome consejos de vida para poder ser una mejor persona a cada instante.

A Jennifer por ser la mi amiga, compañera quien estuvo siempre ahí para mí, ser quien me dio apoyo en cada momento bueno o malo a lo largo de la carrera, ser esa persona quien te motiva a ser cada vez mejor.

Stalin Reyes

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por darme el conocimiento y las fuerzas para que este objetivo y etapa de mi vida se cumpla.

A mis padres y hermana por su apoyo, cariño en cada momento de mi vida a lo largo de mi carrera por estar siempre ahí para mí.

A mis dos mejores amigos Jenny y Guillermo por estar siempre en todo momento junto a mí, desde que iniciamos nuestra carrera universitaria hasta finalizarla, por esa amistad incondicional y estar juntos en cada situación que hemos pasado.

Agradezco a mi amigo y compañero de tesis Erick, con quien hemos formado una linda amistad apoyándonos, saliendo adelante en cada proyecto que hemos hecho juntos y siempre contar uno con el otro en cada etapa de la carrera.

Un agradecimiento a mi tutor de tesis Ing. Alan Cuenca quien estuvo ahí para nosotros de inicio a final siempre guiándonos, ayudándonos y apoyándonos en todo el proceso de realización de este trabajo de titulación.

A cada uno de los ingenieros de la carrera quienes con sus conocimientos tantos profesionales como de vida han ido forjando para poder ser un gran profesional.

Stalin Reyes

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a mis padres María y Franklin, por inspirarme y darme fuerza para continuar mis estudios y alcanzar mis anhelos más deseados, además de educarme siempre en función de principios y valores, darme palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona y acompañarme en todos mis sueños y metas.

Erick Velez

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud con Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento con mis padres por confiar en mí y darme ánimos para cursar esta carrera y apoyarme en cada tropezón que se me ha presentado, enseñándome que no siempre se triunfa a la primera, sino que se debe aprender de los errores y seguir adelante con más fuerza y empeño.

A mi amigo y compañero Stalin, quien me ha brindado su amistad y apoyo en cada momento de esta etapa universitaria, con quien he compartido buenos momentos y ha sido un pilar fundamental para concluir este trabajo.

A mi amiga y compañera Paola por estar siempre a mi lado ayudándome a crecer no solo en el ámbito académico sino también como persona a lo largo de mi vida.

De igual manera agradezco a mi tutor de tesis Ing. Alan Cuenca por brindarme su conocimiento y apoyo a lo largo de este proceso académica, ya que de no ser por su ayuda nunca hubiera logrado llegar hasta este punto tan importante de mi existencia.

Erick Velez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
1.1	Objetivo general	1
1.2	Objetivos específicos	1
1.3	Fundamentos	2
	Energía solar fotovoltaica	2
	Sistemas fotovoltaicos	2
2	Metodología	4
2.1	Descripción de la metodología usada	4
3	Resultados y Discusión	6
3.1	Requerimientos	6
	Descripción de los elementos a utilizar	6
	Análisis de datos de irradiación en la ESFOT	13
3.2	Dimensionamiento	15
	Estudio de carga	15
	Voltaje del sistema	16
	Cálculo del número de módulos fotovoltaicos	17
	Selección del controlador de carga	18
	Cálculo del inversor	19
	Cálculo de baterías	19
	Análisis de carga DC y AC	21
3.3	Planos esquemáticos, eléctricos y electrónicos	26
	Planos mecánicos	26
	Plano eléctrico	26
	Esquema electrónico	26
3.4	Estudio económico	27
	Costo y materiales del sistema fotovoltaico	27
	Costo y materiales del soporte metálico	27

Costo total del módulo fotovoltaico.....	28
3.5 Manual de implementación y mantenimiento	29
4 Conclusiones y Recomendaciones	30
4.1 Conclusiones.....	30
4.2 Recomendaciones.....	31
5 Referencias bibliográficas	34
ANEXOS.....	i
Anexo 1: Certificado de Funcionamiento.....	ii
Anexo 2: Planos mecánicos	iv
Anexo 3: Plano eléctrico	x
Anexo 4: Esquema electrónico	xii
Anexo 5: Hojas técnicas de componentes.....	xiv
Anexo 6: Informe Pvsyst.....	xix

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Principio de funcionamiento de una celda solar	2
Figura 1.2 Sistema autónomo	3
Figura 1.3 Sistema conectado a la red	3
Figura 3.1 Panel solar	7
Figura 3.2 Controlador de carga	7
Figura 3.3 Inversor	8
Figura 3.4 Batería	9
Figura 3.5 Solarímetro	9
Figura 3.6 Halógeno	10
Figura 3.7 Fusible DC para panel solar y controlador	10
Figura 3.8 Fusible DC para la batería	11
Figura 3.9 Sensor multifunción (AC)	11
Figura 3.10 Sensor multifunción DC	12
Figura 3.11 Sensor multifunción (DC)	13
Figura 3.12 Conectores solares	13
Figura 3.13 Gráfica de datos HSP	14
Figura 3.14 Gráfica de datos de irradiación	14
Figura 3.15 Atlas Solar del Ecuador	15
Figura 3.16 Teléfono	22
Figura 3.17 Laptop	22
Figura 3.18 Motor DC	23
Figura 3.19 Faros LED	24
Figura 3.20 Lámpara (AC)	25
Figura 3.21 Plancha de cabello	25
Figura 3.22 Código QR del manual de implementación	29
Figura 3.23 Código QR del manual de mantenimiento	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Características del panel solar	6
Tabla 3.2	Características del controlador.....	7
Tabla 3.3	Características del inversor.....	8
Tabla 3.4	Características de la batería	8
Tabla 3.5	Características del solarímetro.....	9
Tabla 3.6	Características del halógeno.....	10
Tabla 3.7	Características de los fusibles.....	10
Tabla 3.8	Características del sensor multifunción (AC)	11
Tabla 3.9	Características del sensor multifunción (DC).....	12
Tabla 3.10	Características del sensor multifunción (DC) para el panel	12
Tabla 3.11	Características de conectores solares	13
Tabla 3.12	Datos de irradiación en la ESFOT.....	14
Tabla 3.13	Análisis del mes con el menor y mayor rendimiento	15
Tabla 3.14	Estudio de cargas.....	16
Tabla 3.15	Voltaje del sistema	16
Tabla 3.16	Resumen de componentes	21
Tabla 3.17	Características técnicas del teléfono.....	21
Tabla 3.18	Características técnicas de la laptop.....	22
Tabla 3.19	Características técnicas del motor (DC).....	23
Tabla 3.20	Características técnicas de faro LED	24
Tabla 3.21	Características técnicas de lámpara (AC).....	24
Tabla 3.22	Características técnicas de plancha de cabello	25
Tabla 3.23	Elementos obtenidos en el análisis de carga	26
Tabla 3.24	Costo y materiales aproximados de los componentes.....	27
Tabla 3.25	Costo y materiales aproximados del soporte metálico	28
Tabla 3.26	Costo total aproximado.	28

RESUMEN

El presente proyecto de titulación, DISEÑO DE UN SISTEMA AISLADO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS DEL LTI-ESFOT, sirve como guía para la implementación de módulos fotovoltaicos didácticos que refuercen el proceso de aprendizaje de la materia de Energías Alternativas. Además, permitirá el desarrollo de futuros estudios para la implementación y uso de sistemas fotovoltaicos aislados en el Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT (LTI-ESFOT). En función al estudio técnico realizado, el presente documento está conformado por cinco secciones detalladas a continuación.

En la sección uno se muestra la introducción del proyecto la cual está conformada por el planteamiento del problema, que parte de la necesidad de disponer equipos para conocer el funcionamiento de la energía solar fotovoltaica, además, muestran el objetivo general y los objetivos específicos.

En la sección dos se describe la metodología utilizada para diseñar el proyecto aplicando los parámetros y procedimientos que permiten el desarrollo de cada objetivo.

En la sección tres se detallan los resultados obtenidos en base a las simulaciones realizadas en Proteus, SolidWorks, PVSyst y AutoCAD, además esta sección contiene los videos correspondientes a los manuales de implementación y mantenimiento.

La sección cuatro contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas del diseño y simulación del sistema fotovoltaico aislado.

Finalmente, en la sección cinco se indican las referencias bibliográficas utilizadas para el desarrollo del presente proyecto.

PALABRAS CLAVE: Solar, Fotovoltaica, Radiación, Renovables.

ABSTRACT

The present degree project, DESIGN OF AN ISOLATED PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEM FOR THE LTI-ESFOT TEACHING MODULES, serves as a guide for the implementation of didactic photovoltaic modules that reinforce the learning process of Alternative Energies. In addition, it will allow the development of future studies for the implementation and use of isolated photovoltaic systems in the ESFOT Industrial Technology Laboratory (LTI-ESFOT). Based on the technical study carried out, this document is made up of five sections detailed below.

In section one the introduction of the project is shown, which is made up of the problem statement, which starts from the need to have equipment to know the operation of photovoltaic solar energy, in addition, they show the general objective and the specific objectives.

Section two describes the methodology used to design the project, applying the parameters and procedures that allow the development of each objective.

In section three the results obtained based on the simulations carried out in Proteus, SolidWorks, PVSyst and AutoCAD are detailed, in addition this section contains the videos corresponding to the implementation and maintenance manuals.

Section four contains the conclusions and recommendations obtained from the design and simulation of the isolated photovoltaic system.

Finally, section five indicates the bibliographic references used for the development of this project.

KEYWORDS: Solar, Photovoltaic, Radiation, Renewables.

1 INTRODUCCIÓN

Debido al avance que han tenido las energías no convencionales en el Ecuador, la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) dispone en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica (TSEM), la asignatura de Energías Alternativas, la cual estudia el uso de energías limpias y renovables [1], por tal motivo es importante que los estudiantes realicen prácticas de laboratorio con los temas abordados teóricamente referentes a energía solar fotovoltaica; sin embargo, el LTI-ESFOT no cuenta al momento con módulos para cubrir estas prácticas.

Por estas razones, se propone el diseño de un sistema didáctico de energía solar fotovoltaica, que permita la implementación de módulos educativos, en los cuales los estudiantes realicen prácticas enfocadas al uso de sistemas fotovoltaicos para conocer sus características y funcionamiento.

En el Anexo 1 se adjunta el certificado de funcionamiento el cual avala que este proyecto ha cumplido con los parámetros establecidos de simulación.

1.1 Objetivo general

Diseñar un sistema aislado de energía fotovoltaica para los módulos didácticos del LTI-ESFOT.

1.2 Objetivos específicos

Determinar los requerimientos necesarios para el diseño del sistema fotovoltaico.

Dimensionar el sistema.

Diseñar planos esquemáticos, eléctricos y electrónicos.

Realizar estudio económico.

Elaborar un manual de implementación y mantenimiento.

1.3 Fundamentos

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se basa en el fenómeno físico que convierte directamente la radiación solar (electromagnética) en corriente eléctrica, en un dispositivo llamado célula fotovoltaica. Al incidir la luz solar sobre el material semiconductor (silicio), sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres, generando de esta manera una corriente eléctrica [2]. En la Figura 1.1 se observa el principio de funcionamiento de una celda solar.

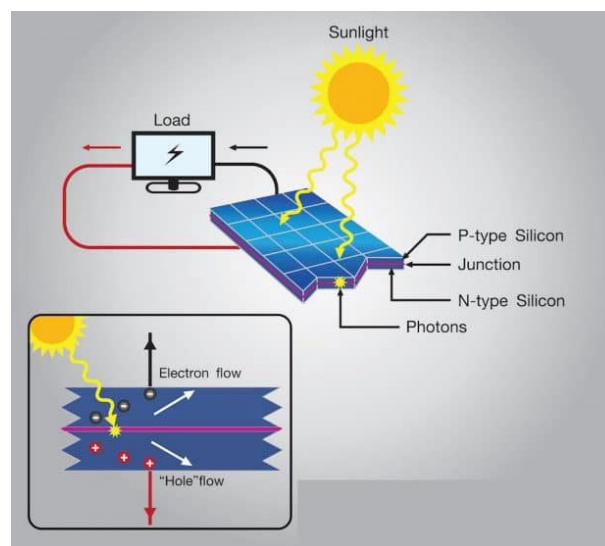


Figura 1.1 Principio de funcionamiento de una celda solar [3]

Sistemas fotovoltaicos

Existen dos tipos de sistemas que aprovechan la energía solar a través del efecto fotovoltaico, cuya diferencia principal es su conexión o desconexión a la red eléctrica de distribución. Estos sistemas son el sistema aislado y el sistema conectado a la red.

Sistema aislado

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas son aquellas que generan electricidad de forma autónoma, sin conexión a red, y que están provistas de sistemas de acumulación (baterías) y regulación para poder cubrir en todo momento la demanda, tal como se indica en la Figura 1.2 [4].

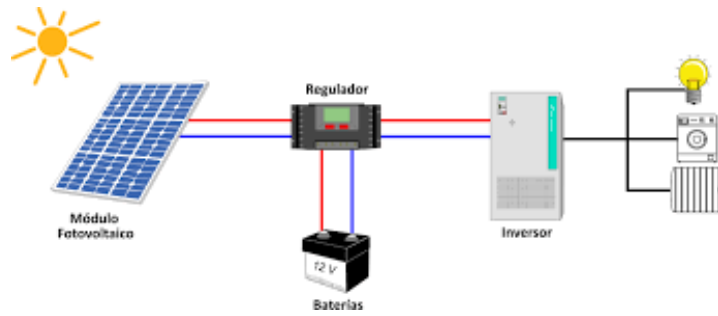


Figura 1.2 Sistema autónomo [5]

Sistema conectado a la red

Un sistema conectado a red funciona por medio de uno o varios paneles solares que generan electricidad, esta energía se transforma mediante un inversor y esta se inyecta en paralelo con la red eléctrica mediante el uso de un medidor bidireccional [6]. En la Figura 1.3 se observan los principales componentes de un sistema conectado a la red.

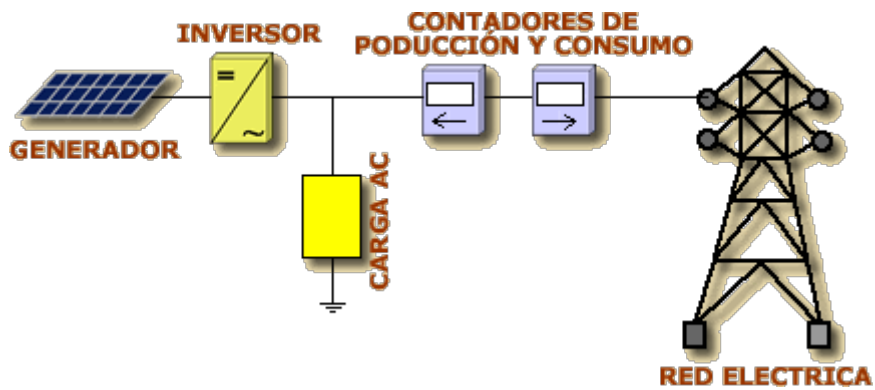


Figura 1.3 Sistema conectado a la red [7]

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la metodología usada

El diseño del sistema de energía renovable fotovoltaica para módulos didácticos del Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT se realizó mediante investigación aplicada de parámetros y normas técnicas para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados como son: el estudio de cargas, la selección del voltaje del sistema a partir del consumo diario, selección de componentes y levantamiento de planos.

Los parámetros más importantes para el diseño del sistema se basaron en conocer aspectos como la radiación solar natural y artificial disponible, equipos del laboratorio LTI y la demanda a satisfacer, lo cual determinó los niveles de voltaje, corriente y potencia a obtener. Además, para el diseño se utilizaron informes técnicos elaborados por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) [8], ARCONEL y la Corporación para la Investigación Energética (CIE) [9].

Para el dimensionamiento se utilizó el método establecido por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) [10]. El cual ha sido probado en campo obteniendo excelentes resultados.

Tomando en cuenta que el presente proyecto servirá como una guía de implementación para módulos didácticos fotovoltaicos y la disponibilidad de los equipos en el LTI-ESFOT, para el diseño del sistema se hizo uso de un panel solar con un voltaje de salida de 12 (VDC) y una potencia de 30 (W), una batería de 12 (V), un controlador de carga, así como un inversor (DC – AC) de 12 (VDC) a 220 (VAC) a 60 (Hz). Además, reflectores halógenos de 8200 lúmenes y 500 (W) eléctricos (Equipos disponibles en el LTI) que podrán simular la fuente de energía solar, los cuales fueron dimensionados en base normas de instalación de módulos fotovoltaicos [11].

En base a los elementos considerados se realizó un diagrama esquemático de las partes constructivas del sistema en SolidWorks, tomando en cuenta las dimensiones de los elementos que componen el módulo, así como el espacio físico disponible, además, se diseñaron los diagramas eléctricos correspondientes para este, considerando equipos y protecciones eléctricas. Todos los elementos fueron ubicados en base a normas de instalación de módulos fotovoltaicos [11]. Adicionalmente, se diseñaron esquemas electrónicos para la medición de variables eléctricas (corriente, voltaje y potencia). Estos

planos ayudarán a la construcción e implementación de módulos fotovoltaicos didácticos para realizar prácticas de laboratorio.

En base al diseño y a los elementos que conforman el sistema se realizó una lista de equipos y materiales necesarios con sus respectivas características técnicas, para la implementación de los módulos didácticos. Además, se realizó un estudio de mercado y se observó la disponibilidad de los equipos en el país.

Finalmente, se elaboraron dos videos correspondientes a los manuales de implementación y mantenimiento, en los cuales se detallan las características del sistema, los parámetros de operación y las recomendaciones para el respectivo mantenimiento de los equipos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño de un sistema aislado de energía fotovoltaica permitirá la implementación de módulos didácticos, los cuales ayudarán a entender de una manera más práctica el uso de la energía solar fotovoltaica. Esto se va a lograr mediante la aplicación del método utilizado en el CIEMAT, el cual establece los parámetros necesarios para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. Además, utilizarán planos que facilitarán el ensamblaje de dicho módulo, tomando en cuenta un estudio económico del precio de cada componente. Todo esto se detallará en un manual de implementación y en un manual de mantenimiento para mantener la vida útil de los componentes.

3.1 Requerimientos

Descripción de los elementos a utilizar

En este apartado se describen las características de los elementos que conforman el sistema fotovoltaico aislado, los cuales se encuentran disponibles en el laboratorio de LTI-ESFOT, además estos sirven para realizar el dimensionamiento del sistema.

En la Tabla 3.1 se describen las características del panel solar, las cuales se utilizan para el dimensionamiento y en la Figura 3.1 [12] se muestra el respectivo módulo.

Tabla 3.1 Características del panel solar

Características	
Marca	WindyNation
Modelo	SOL-030P-01
Potencia máxima	30 (W)
Voltaje de circuito abierto (V_{OC})	21,80 (V)
Corriente de corto circuito (I_{SC})	1,83 (A)
Tensión en el punto máximo de potencia (V_{mp})	18 (V)
Corriente en el punto máximo de potencia (I_{mp})	1,67 (A)
Máximo voltaje del sistema	1000 (V_{DC})
Dimensiones	26,4"x13,6"x1"
Enlace de internet	https://bit.ly/30T8Wkf



Figura 3.1 Panel solar [12]

En la Tabla 3.2 se describen las características del controlador, las cuales se utilizan para el dimensionamiento y en la Figura 3.2 se muestra el respectivo regulador.

Tabla 3.2 Características del controlador

Características		
Marca	WindyNation P20L	
Modelo	CHC-LCD-20	
Corriente de carga nominal	20 (A)	
Máxima corriente de corto circuito	20 (A)	
Tensión máxima de circuito abierto	50 (V _{DC})	
Potencia máxima de CC (W)	12 V	240 (W)
	24 V	480 (W)
Enlace de internet	https://bit.ly/3g57nTR	



Figura 3.2 Controlador de carga [13]

En la Tabla 3.3 se describen las características del inversor, las cuales se utilizan para el dimensionamiento y en la Figura 3.3 se muestra el respectivo inversor.

Tabla 3.3 Características del inversor

Características	
Marca	Truper
Voltaje	12 (V)
Potencia	200 (W)
Corriente	20 (A)
Eficiencia	85 (%)
Tensión/Frecuencia CA	120 (V _{AC}) a 58-62 (Hz)
Enlace de internet	https://bit.ly/3fMoPgQ



Figura 3.3 Inversor [14]

En la Tabla 3.4 se describen las características de la batería, las cuales se utilizan para el dimensionamiento y en la Figura 3.4 se muestra la respectiva batería.

Tabla 3.4 Características de la batería

Características	
Marca	Bosch
Modelo	BTX9-BS
Capacidad nominal	8 (Ah)
Tecnología	AGM
Voltaje	12 (V)
Profundidad de descarga	50 (%)
Días de autonomía	1
Enlace de Internet	https://bit.ly/34O83aR



Figura 3.4 Batería [15]

Los elementos que se describen a continuación complementan los equipos mencionados, ya que estos no se disponen en el LTI-ESFOT, pero son necesarios para el diseño del sistema, debido a que sirven para la protección, medición de valores y suministro de energía artificial suplementaria.

En la Tabla 3.5 se describen las características del solarímetro (Figura 3.5), el cual se utiliza para medir los valores de irradiación solar.

Tabla 3.5 Características del solarímetro

Características	
Marca	General Tools
Modelo	DBTU1300
Rango de medición	0 a 2000 ($\frac{W}{m^2}$)
	0 a 634 ($\frac{BTU}{ft^2 \cdot h}$)
Precisión de medición	0,1 ($\frac{W}{m^2}$)
	0,1 ($\frac{BTU}{ft^2 \cdot h}$)
Rango espectral	400 a 1000 (nm)
Fuente de alimentación	Cuatro pilas AA
Enlace de Internet	https://bit.ly/34HU3zK



Figura 3.5 Solarímetro [16]

En la Tabla 3.6 se describen las características del halógeno (Figura 3.6) el cual se utiliza como energía artificial suplementaria para el sistema fotovoltaico.

Tabla 3.6 Características del halógeno

Características	
Marca	Woods
Modelo	L-16
Voltaje	130 (V _{AC})
Flujo luminoso	8200 (Lum)
Potencia	500 (W)
Enlace de internet	https://amzn.to/3wUWEIY



Figura 3.6 Halógeno [17]

En la Tabla 3.7 se describen las características de los fusibles (DC), los cuales van a servir para la protección del panel solar, el controlador (Figura 3.7) y la batería (Figura 3.8).

Tabla 3.7 Características de los fusibles

Características		
Marca	SUNTREE & OEM	INTWATT
Modelo	SRD-10g	Mega Fuse Box
Entrada	1000(V)	32 (V)
Enlace de internet	https://bit.ly/2TyRSwe	https://bit.ly/36XT7bo



Figura 3.7 Fusible DC para panel solar y controlador [18]

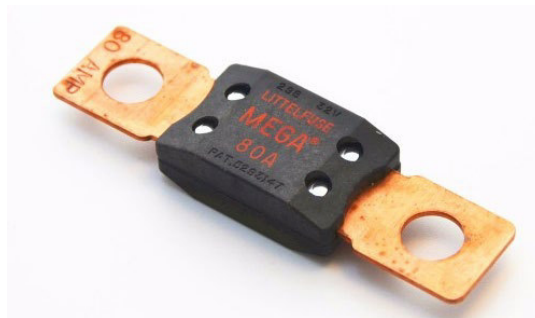


Figura 3.8 Fusible DC para la batería [19]

En la Tabla 3.8 se describen las características del sensor multifunción (AC) (Figura 3.9), el cual se utiliza para la medición de valores en la carga AC que se vaya a conectar al sistema.

Tabla 3.8 Características del sensor multifunción (AC)

Características	
Uso	Carga de corriente alterna
Marca	Morning Group
Modelo	PZEM-022
Tensión de funcionamiento	80 a 260 (V_{AC})
Potencia nominal	22000 (W)
Corriente nominal	100 (A)
Frecuencia de funcionamiento	45 a 65 (Hz)
Precisión de medición	1°
Enlace de internet	https://amzn.to/3uM1KiH



Figura 3.9 Sensor multifunción (AC) [20]

En la Tabla 3.9 se describen las características del sensor multifunción (DC) (Figura 3.10), el cual sirve para verificar la carga y descarga de la batería, además permite visualizar los valores de la carga (DC) que se conecte al sistema.

Tabla 3.9 Características del sensor multifunción (DC)

Características	
Uso	Batería
Marca	Morning Group
Modelo	PZEM-015
Tensión de funcionamiento	0 a 200 (V)
Potencia nominal	0 a 60000 (W)
Corriente nominal	0 a 300 (A)
Tiempo de Funcionamiento	0 a 999 (h)
Enlace de internet	https://amzn.to/3i1FRJf



Figura 3.10 Sensor multifunción DC [21]

En la Tabla 3.10 se describen las características del sensor multifunción (DC) (Figura 3.11) el cual sirve para la medición de valores del panel solar.

Tabla 3.10 Características del sensor multifunción (DC) para el panel

Características	
Uso	Panel Fotovoltaico
Marca	Bayite
Modelo	PZEM-051
Tensión de funcionamiento	6,5 a 100 (V)
Potencia nominal	0 a 9999 (W)
Corriente nominal	0 a 100 (A)
Precisión de medición	1 (%)
Enlace de internet	https://amzn.to/3fKAptd



Figura 3.11 Sensor multifunción (DC) [22]

En la Tabla 3.11 se describen los conectores solares (Figura 3.12), los cuales se utilizan al momento de realizar conexiones serie y paralelo con otros módulos didácticos.

Tabla 3.11 Características de conectores solares

Características	
Marca	BougeRV
Modelo	12 unidades
Enlace de internet	https://amzn.to/2SSJ0ke



Figura 3.12 Conectores solares [23]

Análisis de datos de irradiación en la ESFOT

En esta sección se referencian los datos de irradiación y la hora solar pico (HSP), los cuales sirven para el dimensionamiento del módulo fotovoltaico.

En la Tabla 3.12 se puede verificar cada uno de los valores aproximados que se disponen mensualmente en la ESFOT. Se tomaron datos satelitales HSP mensuales a través de la herramienta de la NASA, los cuales se observan en la Figura 3.13 puntualizando el valor máximo y mínimo. Además, se dispone de datos mensuales de irradiación los cuales se pueden observar en la Figura 3.14.

Tabla 3.12 Datos de irradiación en la ESFOT

Mes	Irradiación ($\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$)	Ángulo óptimo	Orientación óptima	HSP ($\frac{\text{h}}{\text{día}}$)
Enero	4,09	-20,50	S	4,09
Febrero	4,11	-12,00	S	4,11
Marzo	4,50	-2,00	S	4,50
Abril	4,28	9,50	N	4,28
Mayo	4,07	19,00	N	4,07
Junio	3,97	24,00	N	3,97
Julio	4,22	22,50	N	4,22
Agosto	4,42	14,00	N	4,42
Septiembre	4,23	2,50	N	4,23
Octubre	4,18	-9,00	S	4,18
Noviembre	4,26	-18,50	S	4,26
Diciembre	3,93	-22,50	S	3,93
Promedio	4,19	0,50	N	4,19

Fuente: NASA

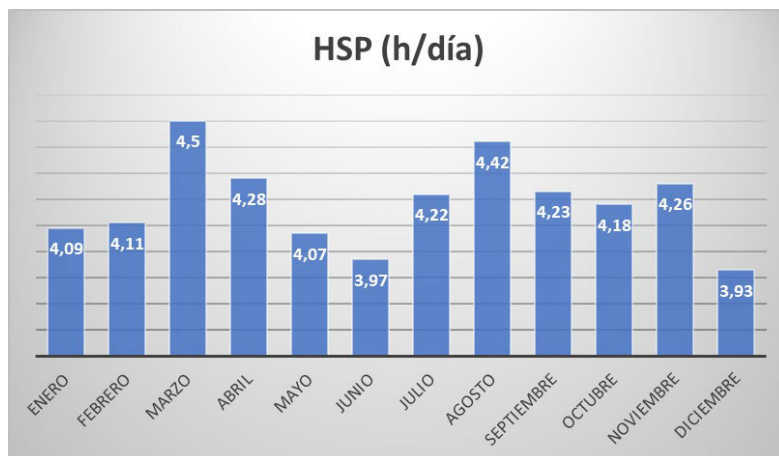


Figura 3.13 Gráfica de datos HSP ($\frac{\text{h}}{\text{día}}$)

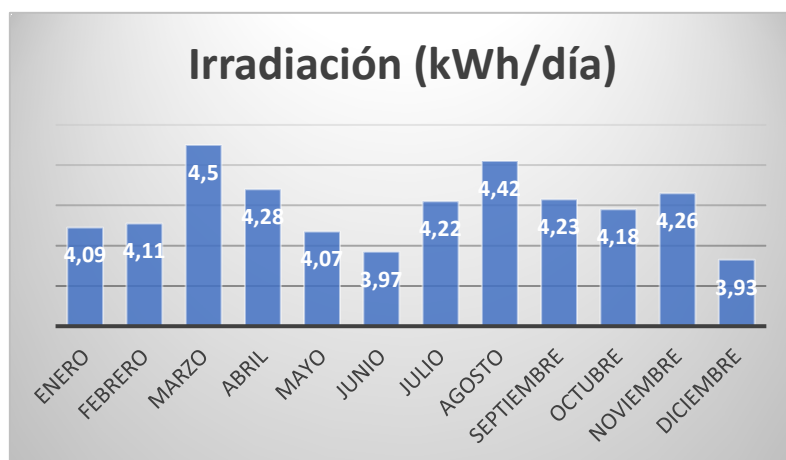


Figura 3.14 Gráfica de datos de irradiación ($\frac{\text{kWh}}{\text{día}}$)

En la Tabla 3.13 se pueden evidenciar el mes y el valor correspondientes al mayor y el menor rendimiento.

Tabla 3.13 Análisis del mes con el menor y mayor rendimiento

Característica	Mes	Valor
Menor rendimiento	Diciembre	3,93 $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$
Mayor rendimiento	Marzo	4,50 $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$

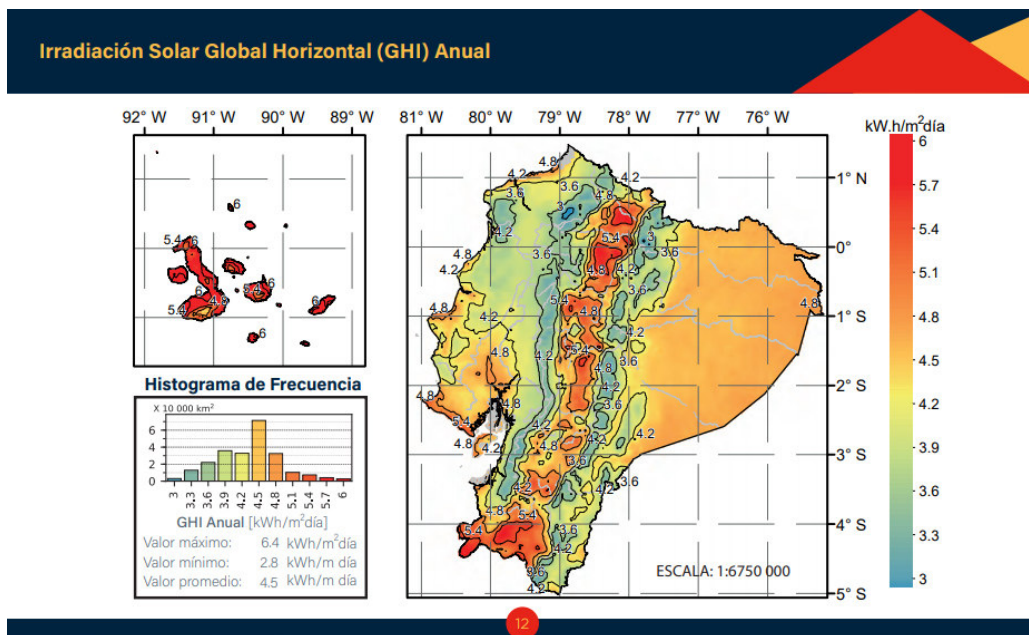


Figura 3.15 Atlas Solar del Ecuador [24]

Una vez obtenidos los datos satelitales de recurso solar, se utilizó el Atlas de Radiación Solar del Ecuador de 2019 (Figura 3.15), con el fin de conseguir un valor promedio HSP de 4,8 horas.

3.2 Dimensionamiento

Estudio de carga

Se debe realizar un estudio de todos los dispositivos (cargas) que consumirán energía eléctrica y serán alimentados por el sistema FV. Para ello, es necesario conocer la potencia, voltaje, horas de consumo diario y el número de dispositivos. Con estos datos se calcula el consumo diario (Wh) y la demanda máxima (W). El estudio de cargas que se muestra en la Tabla 3.14, se realizó tomando valores referenciales de potencia y de horas de uso.

Tabla 3.14 Estudio de cargas

Dispositivo/Carga	Cantidad	Potencia (W)	Voltaje (V _{AC})	Horas de uso diario	Horario	Consumo diario (Wh/día)	Demanda máxima (W)
Electrónico	1	17	110	2	12:00-13:00	34	17
TOTAL						34	17

Para determinar el consumo diario se utilizó la Ecuación 3.1, considerando el factor de protección establecido por el CIEMAT.

$$\text{Consumo diario real} = \text{Consumo diario} * \text{factor de protección}$$

Ecuación 3.1 Consumo diario real [10]

Donde:

$$\begin{aligned} \text{Consumo diario} & : 34 \left(\frac{\text{Wh}}{\text{día}} \right) \\ \text{Factor de protección} & : 1,20 \\ \text{Consumo diario real} & : \left(\frac{\text{Wh}}{\text{día}} \right) \end{aligned}$$

Por lo tanto, se obtuvo el consumo diario real.

$$\text{Consumo diario real} = 40,8 \left(\frac{\text{Wh}}{\text{día}} \right)$$

Voltaje del sistema

El consumo diario debe ser multiplicado por un factor de protección del 20% establecido por el CIEMAT para sobredimensionar el sistema y compensar las respectivas pérdidas debido a condiciones atmosféricas, nubosidad, temperatura, etc. Con dicho consumo se obtiene el valor del voltaje del sistema en base a los parámetros establecidos en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15 Voltaje del sistema

Voltaje del sistema (V)	Consumo diario mínimo (Wh)	Consumo diario máximo (Wh)
12	1	2000
24	2001	4000
48	4001	Mayores a 4001
Elección del sistema	12 (V)	

Fuente: [10]

En función al consumo obtenido se seleccionó un voltaje de 12 (V) debido a que este valor se encuentra en los parámetros establecidos para el sistema.

Cálculo del número de módulos fotovoltaicos

Se debe elegir un módulo FV a criterio propio, sin embargo, el valor de la potencia establecerá el número de módulos a utilizar. Las características del módulo seleccionado se muestran en la Tabla 3.1.

Para el cálculo de la potencia fotovoltaica (P_{FV}) necesaria, se tomó en cuenta el consumo diario real obtenido de la Ecuación 3.1 y el HSP promedio de la Tabla 3.12.

Para determinar la potencia fotovoltaica se utilizó la Ecuación 3.2

$$P_{FV} = \frac{\text{Consumo diario}}{HSP_{\text{Promedio}}}$$

Ecuación 3.2 Potencia fotovoltaica en función del consumo diario y HSP [10]

Donde:

$$\begin{aligned} \text{Consumo diario} & : 40,8 \left(\frac{\text{Wh}}{\text{día}} \right) \\ HSP_{\text{Promedio}} & : 4,19 \left(\frac{\text{h}}{\text{día}} \right) \\ P_{FV} & : (W) \end{aligned}$$

$$P_{FV} = 9,74(W)$$

Con el resultado de P_{FV} de la Ecuación 3.2 y la potencia (Tabla 3.1), se calculó el número de módulos en base a la Ecuación 3.3

$$\#Módulos_{FV} = \frac{P_{FV}}{P_{\text{módulo}}}$$

Ecuación 3.3 Números de módulos FV [10]

Donde:

$$\begin{aligned} P_{FV} & : 9,74 (W) \\ P_{\text{módulo}} & : 30 (W) \end{aligned}$$

$$\#Módulos_{FV} = 0,32$$

Si el resultado no es un número entero, se debe aproximar al inmediato superior.

$$\#Módulos_{FV} = 1$$

Selección del controlador de carga

Acorde al número de módulos obtenidos, se selecciona el regulador o controlador de carga. Para ello, se debe establecer la configuración de conexión de los módulos (serie, paralelo o mixto).

Luego, se calcula el voltaje y corriente resultante de la configuración elegida para establecer la P_{FV} y elegir el controlador. *Nota: Para el cálculo de voltaje y corriente resultante se deben utilizar los valores de voltaje de circuito abierto y corriente de cortocircuito. Estos valores se encuentran en las hojas técnicas del módulo.*

Para el presente diseño, se eligió un módulo fotovoltaico, por lo tanto, los valores de corriente y voltaje se calculan en base a la Ecuación 3.4 y Ecuación 3.5 respectivamente.

$$\dot{V} = \# \text{módulos} * V$$

Ecuación 3.4 Voltaje en función al número de módulos [10]

Donde:

$$\begin{aligned} \# \text{módulos} & : 1,0 \\ V & : 21,8 \text{ (V)} \\ \dot{V} & : \text{ (V)} \end{aligned}$$

Utilizando la Ecuación 3.4 se obtiene \dot{V} .

$$\dot{V} = 21,8 \text{ (V)}$$

Ecuación 3.5 Corriente en función al número de módulos [10]

$$\dot{I} = \# \text{módulos} * I$$

Donde:

$$\begin{aligned} \# \text{módulos} & : 1,0 \\ I & : 1,83 \text{ (A)} \\ \dot{I} & : \text{ (A)} \end{aligned}$$

Utilizando la Ecuación 3.5 se obtiene \dot{I} .

$$\dot{I} = 1,83 \text{ (A)}$$

Una vez obtenidos los valores de voltaje y corriente, con la Ecuación 3.6 se obtiene la P_{FV} .

$$P_{FV} = V * I$$

Ecuación 3.6 Potencia fotovoltaica en función del voltaje y corriente [10]

Donde:

$$V : 21,8 \text{ (V)}$$

$$I : 1,83 \text{ (A)}$$

$$P_{FV} : \text{ (W)}$$

$$P_{FV} = 39,89 \text{ (W)}$$

En base a las características técnicas del controlador mencionadas en la Tabla 3.2 se establece que el mismo cumple con el voltaje del sistema y la potencia necesaria.

Cálculo del inversor

El inversor debe ser elegido con una potencia mayor a la calculada por la demanda máxima (Tabla 3.14) y con un voltaje igual o mayor al del sistema (Tabla 3.15). Estos datos se encuentran en las hojas técnicas. Además, se debe conocer el valor de la eficiencia del inversor.

En base a las características técnicas del inversor (Tabla 3.3) se puede concluir que este si cumple con los parámetros necesarios.

Cálculo de baterías

Se calculó la capacidad (Ah/día) en base a la Ecuación 3.7, y al valor de eficiencia del inversor (Tabla 3.3).

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{Consumo Diario}}{V_{\text{sistema}} * \eta_{\text{inversor}}}$$

Ecuación 3.7 Amperios-hora al día [10]

Donde:

$$\text{Consumo Diario} : 40,8 \left(\frac{\text{Wh}}{\text{día}} \right)$$

$$V_{\text{sistema}} : 12 \text{ (V)}$$

$$\eta_{\text{inversor}} : 85 \text{ (\%)}$$

$$\text{Capacidad} : \left(\frac{\text{Ah}}{\text{día}} \right)$$

$$\text{Capacidad} = 4 \left(\frac{\text{Ah}}{\text{día}} \right)$$

Para determinar el número de baterías en paralelo se utilizó la Ecuación 3.8 y el porcentaje de descarga del modelo seleccionado (Tabla 3.4).

$$\# \text{ baterías en paralelo} = \frac{\left(\frac{\text{Ah}}{\text{día}} * \text{días de autonomía}\right)}{\left(\frac{\text{Profundidad de descarga}}{\text{Capacidad de la batería}}\right)}$$

Ecuación 3.8 Baterías en paralelo [10]

Donde:

$$\begin{array}{lcl} \frac{\text{Ah}}{\text{día}} & : & 4 \left(\frac{\text{Ah}}{\text{día}}\right) \\ \text{Días de autonomía} & : & 1 \\ \text{Profundidad de descarga} & : & 50 (\%) \\ \text{Capacidad de la batería} & : & 8(\text{Ah}) \end{array}$$

$$\# \text{ baterías en paralelo} = 1$$

Para determinar el número de baterías en serie se utilizó la Ecuación 3.9.

$$\# \text{ baterías en serie} = \frac{V_{\text{sistema}}}{\text{Voltaje de la batería}}$$

Ecuación 3.9 Baterías en serie [10]

Donde:

$$\begin{array}{lcl} V_{\text{sistema}} & : & 12 (V) \\ \text{Voltaje de la batería} & : & 12 (V) \end{array}$$

$$\# \text{ baterías en serie} = 1$$

Para calcular el número de baterías totales se multiplican el número de baterías en serie por el número de baterías en paralelo como lo indica la Ecuación 3.10.

$$\# \text{ baterías totales} = \# \text{ baterías en paralelo} * \# \text{ baterías en serie}$$

Ecuación 3.10 Baterías totales [10]

Donde:

$$\begin{array}{lcl} \# \text{ baterías en paralelo} & : & 1 \\ \# \text{ baterías en serie} & : & 1 \end{array}$$

$$\# \text{Baterías totales} = 1$$

Al haber realizado todo el proceso para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se obtuvo el siguiente resumen en la Tabla 3.16 con los elementos y características necesarias.

Tabla 3.16 Resumen de componentes

Voltaje del sistema	12 (V)
HSP promedio	4,19 $\left(\frac{h}{día}\right)$
Panel solar	30 (W)
Controlador	240 (W)
Inversor	200 (W)
Batería	8 (Ah)

Análisis de carga DC y AC

Carga (DC)

Para determinar la potencia (DC) disponible se utilizó la Ecuación 3.11.

$$P_{DC} = V * I$$

Ecuación 3.11 Potencia (DC) [10]

Donde:

$$V : 21,80 \text{ (V)}$$

$$I : 1,83 \text{ (A)}$$

$$P_{DC} : \text{ (W)}$$

$$P_{DC} = 39,89 \text{ (W)}$$

En la Tabla 3.17 se detallan las principales características del teléfono (Figura 3.16) que se utilizó para determinar si la potencia del módulo fotovoltaico puede abastecerla.

Tabla 3.17 Características técnicas del teléfono

Características	
Marca	Xiaomi
Modelo	Mi 10T
Voltaje	11 (V)
Potencia	33 (W)
Corriente	3 (A)
Enlace de internet	https://bit.ly/3glAqE4



Figura 3.16 Teléfono [25]

La potencia del arreglo fotovoltaico es capaz de abastecer la carga completa de un teléfono funcionando al 100%.

En la Tabla 3.18 se muestran las características principales de la laptop (Figura 3.17) que se tomó como ejemplo para verificar si abastece la potencia necesaria para su funcionamiento.

Tabla 3.18 Características técnicas de la laptop

Características	
Marca	Dell
Modelo	Inspiron mini 9
Voltaje	19 (V)
Potencia	30 (W)
Corriente	1,58 (A)
Enlace de internet	https://dell.to/3qyqQmW



Figura 3.17 Laptop [26]

La potencia del arreglo fotovoltaico es capaz de abastecer la carga completa de una laptop funcionando al 100%.

En la Tabla 3.19 se muestran las características principales del motor (DC) (Figura 3.18) que se tomó como ejemplo para verificar si abastece la potencia necesaria para su funcionamiento.

Tabla 3.19 Características técnicas del motor (DC)

Características	
Marca	AmpFlow
Modelo	E30-150
Voltaje	24 (VDC)
Potencia	733 (W)
Corriente	2,1 (A)
Eficiencia	76 (%)
Revoluciones	5600 (RPM)
Enlace de internet	https://amzn.to/353AXnI



Figura 3.18 Motor DC [27]

Si se desea hacer funcionar el motor DC previamente detallado este podrá alcanzar 304,75 (RPM) de las 5600 (RPM) a las cuales funciona a su máxima potencia. Para determinar el número de revoluciones finales se utilizó la Ecuación 3.12

$$\frac{\text{Potencia}_{\text{motor}}}{\text{Revoluciones}_{\text{motor}}} = \frac{P_{\text{DC}}}{\text{Revoluciones}_{\text{finales}}}$$

Ecuación 3.12 Revoluciones finales

Donde:

- Potencia_{motor} : 733 (W)
- Revoluciones_{motor} : 5600 (RPM)
- P_{DC} : 39,89 (W)
- Revoluciones_{finales} : (RPM)

$$\text{Revoluciones}_{\text{finales}} = 304,75 \text{ (RPM)}$$

En la Tabla 3.20 se muestran las características principales del faro LED (Figura 3.19) que se tomó como ejemplo para verificar si abastece la potencia necesaria para su funcionamiento.

Tabla 3.20 Características técnicas de faro LED

Características	
Voltaje	10-30 (V_{DC})
Potencia	18 (W)
Corriente	0,6 (A)
Enlace de internet	https://bit.ly/2U0A3WJ



Figura 3.19 Faros LED [28]

Cada faro LED consta de 6 leds con una potencia de 3 (W) por lo cual el arreglo fotovoltaico será capaz de abastecer a dos faros LED.

Carga (AC)

En la Tabla 3.21 se muestran las características principales de la lámpara (AC) (Figura 3.20) que se tomó como ejemplo para verificar si abastece la potencia necesaria para su funcionamiento.

Tabla 3.21 Características técnicas de lámpara (AC)

Características	
Marca	Sylvania
Modelo	LIFX 1000
Voltaje	100-240 (VAC)
Potencia	17 (W)
Flujo luminoso	1000 (Lum)
Enlace de internet	https://amzn.to/353AXnI



Figura 3.20 Lámpara (AC) [29]

El arreglo fotovoltaico es capaz de abastecer una lámpara de las características antes mencionadas por dos horas o a su vez dos por una hora.

En la Tabla 3.22 se muestran las características principales de la plancha de cabello (Figura 3.21) que se tomó como ejemplo para verificar si abastece la potencia necesaria para su funcionamiento.

Tabla 3.22 Características técnicas de plancha de cabello

Características	
Marca	Wella
Modelo	Proheat
Voltaje	110-230 (V _{AC})
Potencia	15 (W)
Enlace de internet	https://bit.ly/3vvk0xa



Figura 3.21 Plancha de cabello [30]

En la Tabla 3.23 se muestra un resumen de las cargas AC y DC que se pueden conectar al sistema tomando en cuenta principalmente sus valores de potencia.

Tabla 3.23 Elementos obtenidos en el análisis de carga.

Características		Valor
Carga DC	Teléfono	30 (W)
	Laptop	30 (W)
	Motor	39.98 (W) funcionando a 304,7 (RPM)
	Faros LED	18 (W)
Carga AC	Lámpara LED	17 (W)
	Plancha de cabello	15 (W)

Una vez finalizado el análisis de carga que es capaz de satisfacer el sistema diseñado, se realizó la respectiva simulación en el programa PVSyst (Anexo 6), para obtener el informe técnico, el cual valida el dimensionamiento realizado y detalla la fracción solar anual que es capaz de abastecer el sistema fotovoltaico, así como sus respectivas pérdidas.

3.3 Planos esquemáticos, eléctricos y electrónicos

Planos mecánicos

En el Anexo 2, se muestran los planos mecánicos que componen el sistema fotovoltaico, es decir, el plano de la estructura de la mesa, el sistema de movimiento del panel solar, el sistema de movimiento de la lámpara, así como el plano de todo el sistema.

Plano eléctrico

En el Anexo 3, se muestra el diagrama eléctrico de las conexiones de cada uno de los elementos que componen el sistema fotovoltaico, tomando en cuenta las recomendaciones de los fabricantes (Anexo 5).

Esquema electrónico

En el Anexo 4, se muestran los diagramas electrónicos realizados en el programa Proteus simulando el funcionamiento de los sensores (AC) y (DC) (se debe tomar en cuenta que la batería representa el panel solar). Para el sensor (AC) se usó un inversor previamente diseñado simulando sus parámetros característicos.

3.4 Estudio económico

El costo de los elementos utilizados se basa en valores referenciales, ya que va a depender directamente de los fabricantes y el lugar de venta de estos [31].

Costo y materiales del sistema fotovoltaico

La Tabla 3.24 muestra de una manera detallada los materiales y un costo aproximado de los principales componentes del sistema.

Tabla 3.24 Costo y materiales aproximados de los componentes.

Costo y materiales del sistema fotovoltaico				
N°	Componentes	Costo unitario	Cantidad	Total
1	Panel Solar WINDYNATION	\$ 54,99	1	\$ 54,99
2	Controlador WINDYNATION P20L	\$ 26,99	1	\$ 26,99
3	Inversor TRUPER	\$ 49,00	1	\$ 49,00
4	Batería BOSCH	\$ 60,00	1	\$ 60,00
5	Solarímetro GENERAL TOOLS	\$ 94,24	1	\$ 94,24
6	Halógeno WOODS	\$ 6,17	1	\$ 6,17
7	Fusible DC SUNTREE	\$ 1,86	2	\$ 3,72
8	Fusible DC de la batería MEGA	\$ 1,50	1	\$ 1,50

Tabla 3.24 Costo y materiales aproximados de los componentes.

Costo y materiales del sistema fotovoltaico				
N°	Componentes	Costo unitario	Cantidad	Total
9	Sensor CA MORNING GROUP	\$ 21,99	1	\$ 21,99
10	Sensor Batería MORNING GROUP	\$ 23,99	1	\$ 23,99
11	Sensor DC BAYITE	\$ 15,99	1	\$ 15,99
12	Conectores BOURGERV	\$ 10,99	6	\$ 10,99
TOTAL				\$ 369,57

Costo y materiales del soporte metálico

La Tabla 3.25 muestra de una manera detallada los materiales y un costo aproximado del soporte metálico.

Tabla 3.25 Costo y materiales aproximados del soporte metálico

Costo y materiales del soporte metálico				
N°	Materiales	Costo unitario	Cantidad	Total
1	Tubos cuadrados de 1"	\$ 6,00	6	\$ 36,00
2	Tubo cuadrado 1x2"	\$ 13,29	1	\$ 13,29
3	Tubos metálico circular de 1" 50(cm)	\$ 10,00	1	\$ 10,00
4	Tubos metálico circular de 3/4" 15 (cm)	\$ 20,00	1	\$ 20,00
TOTAL				\$ 79,29

Costo total del módulo fotovoltaico

En la Tabla 3.26 se muestra de una manera detallada los materiales y un costo aproximado de todo el módulo fotovoltaico.

Tabla 3.26 Costo total aproximado.

Costo total aproximado		
N°	Descripción	Total
1	Costo del sistema fotovoltaico	\$ 369,57
2	Costo del soporte metálico	\$ 79,29
TOTAL		\$ 448,56

Los precios pueden variar dependiendo el lugar de compra de estos, además, se tomó en cuenta que el panel fotovoltaico, el inversor, el controlador y la batería son elementos con los cuales la ESFOT ya cuenta. Los elementos restantes del módulo didáctico especificados en la Tabla 3.24 no tienen stock en el mercado nacional [32], por ese motivo se debe adicionar el valor de importación vigente desde el país de adquisición.

3.5 Manual de implementación y mantenimiento

En la Figura 3.22 se muestra el código QR con el cual se puede acceder al video del manual de implementación del sistema.



Figura 3.22 Código QR del manual de implementación

En la Figura 3.23 se muestra el código QR con el cual se puede acceder al video del manual de mantenimiento del sistema.



Figura 3.23 Código QR del manual de mantenimiento

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Este proyecto fue diseñado como base para realizar futuras implementaciones de módulos didácticos, que contribuyan en el desarrollo de prácticas basadas en el uso de energías alternativas no convencionales de la carrera de TSEM.
- El dimensionamiento del módulo fotovoltaico se realizó a partir de los elementos que dispone el LTI-ESFOT (panel solar, controlador, inversor, batería), los cuales con sus características técnicas permiten determinar la carga máxima que puede abastecer el sistema.
- Los valores calculados en el proyecto fueron corroborados con el programa PVSyst, que toma en cuenta cada una de las características de las cargas, así como un estimado de las pérdidas que se pueden dar en el sistema.
- Para determinar el HSP promedio se utilizaron datos satelitales de la herramienta web de la NASA, los cuales son equivalentes a los del atlas solar del Ecuador, estos han permitido obtener resultados confiables de forma analítica y mediante la respectiva simulación.
- A partir del análisis realizado se establece que el arreglo fotovoltaico es capaz de abastecer una carga máxima 39,39 (W) en corriente continua, por lo que se determinó que puede alimentar a carga completa un computador portátil o un teléfono celular.
- El motor de corriente continua del LTI-ESFOT, no funciona a su velocidad nominal al momento de alimentarlo con el sistema fotovoltaico diseñado, debido a que este necesita una potencia mayor de 733 (W).
- Al momento de utilizar el inversor, la potencia es de 34 (W), por lo tanto, este puede alimentar cargas como lámparas y una plancha de cabello que se encuentren dentro del rango de la potencia mencionada.
- Se utilizó el programa de diseño SolidWorks para la elaboración de los planos mecánicos del sistema fotovoltaico, en base a las dimensiones reales de los componentes y la aplicación de normas técnicas (CIEMAT); lo que permitirá una futura implementación del sistema.
- Al momento de diseñar el sistema de graduación del panel solar, se tomaron en cuenta ciertos ángulos que este debe tener al variar su movimiento (15° en Ecuador) por lo que se utilizó un graduador donde se indica la inclinación en la

cual este se encuentra, además, este sistema esta provisto con movimiento hacia a los 4 lados.

- Para realizar el esquema eléctrico general del sistema se utilizó el programa AutoCad en base a las conexiones de los elementos y sus hojas técnicas, además, de las protecciones y las cargas correspondientes.
- Los esquemas electrónicos que conforman el sistema se diseñaron en el programa Proteus, tomando en cuenta sensores ya existentes en el mercado de los cuales se obtienen valores útiles para la respectiva simulación.
- El estudio económico realizado muestra un costo estimado del sistema fotovoltaico, tomando en cuenta que los principales componentes ya se encuentran en el laboratorio del LTI-ESFOT, sin embargo, se ha puntualizado componentes complementarios los cuales permitirán repotenciar los módulos a implementar.
- Los videos elaborados corresponden al manual de implementación y mantenimiento, los cuales permitirán una correcta instalación del sistema, ya que se han detallado los pasos que se deben cumplir y además se han puntualizado las actividades a realizar para conservar la vida útil de los respectivos componentes.

4.2 Recomendaciones

- Para la futura implementación de los módulos fotovoltaicos del LTI-ESFOT se debe cumplir con todo el proceso detallado en el presente documento, ya que se ha realizado un análisis técnico para obtener la mayor fiabilidad posible.
- Al momento de escoger el HSP promedio se deben referenciar los datos satelitales de la herramienta web de la NASA y PVGIS, para verificar cuál de éstos corresponden a los valores del atlas solar de Ecuador y de esta manera obtener resultados óptimos.
- Para realizar el dimensionamiento del sistema se deben conocer datos de recurso solar del lugar donde va a ser implementado, ya que a partir de estos se realizó un muestreo temporal (mensual y anual) para determinar un HSP promedio que permita calcular la potencia fotovoltaica del módulo.
- Al momento de realizar la simulación en el programa PVSyst, si no se encuentra un controlador adecuado, para el sistema a dimensionar, se recomienda utilizar uno de tipo universal, para poder verificar que la fracción solar sea correcta.

- Al momento de utilizar el sistema fotovoltaico, no se deben colocar cargas que superen la potencia máxima establecida que provee el sistema, por esta razón es necesario tomar en cuenta el estudio de cargas realizado.
- Para construir la estructura del módulo se deben usar tubos metálicos huecos los cuales van a brindarle una mayor estabilidad y dureza a los componentes ensamblados.
- Al ensamblar la estructura con tubos huecos se debe tomar en cuenta que las conexiones eléctricas vayan guiadas por dichos orificios evitando cables sueltos.
- Al realizar la conexión eléctrica del sensor (AC) se debe tomar en cuenta que la pinza amperimétrica esté conectada en el punto de empalme entre el inversor y la carga donde existe un mayor campo magnético para visualizar los valores.
- Al instalar los sensores multifunción se utilizan las hojas técnicas correspondientes, para de esta manera realizar las conexiones de los elementos del sistema de forma correcta.
- Se establece que para ciertos elementos (sensores, solarímetro, halógeno) pueda que no exista stock en el Ecuador, por lo tanto, se recomienda verificar si en el mercado internacional están disponibles, tomando en cuenta los valores de importación vigentes.
- Se debe tomar en cuenta que la estructura esté fabricada con acero inoxidable y cubierta con pintura anticorrosiva ya que el laboratorio del LTI-ESFOT cuenta con máquinas y sistemas que utilizan tuberías de agua, por lo tanto, es un lugar húmedo que puede causar corrosión al módulo.
- Se debe ubicar el módulo en un sitio lejano a los sistemas de tuberías de agua ya que, al contar con elementos electrónicos y eléctricos, éstos pueden verse afectados y en el peor de los casos pueden dañarse.
- Al realizar las prácticas con energía solar, el módulo debe encontrarse en un entorno abierto y a su vez se debe quitar el sistema de luz artificial ya que estos factores pueden provocar sombras en el sistema y afectar el rendimiento del módulo.
- Para limpiar el panel solar se debe lavar con agua limpia, utilizando franela o un limpia parabrisas, evitar el uso de agua helada ya que puede ocasionar un choque térmico además de estropajos, detergentes, agua con algún tipo de impureza ya que estos pueden rayar la superficie del panel.

- Al finalizar cada semestre se debe realizar una inspección de las juntas donde existe movimiento en el módulo, ya que, con el uso pueda que exista una pérdida de movilidad, por lo tanto, se debe realizar la lubricación (Aceite automotriz) de estos puntos.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ESFOT, «ESFOT,» Tecnología Superior en Electromecánica, 2017. [En línea]. Available: <https://esfot.epn.edu.ec/index.php/oferta-academica/tecnologia-superior-en-electromecanica>.
- [2] R. Shumann, «Que es la Energía Fotovoltaica,» Cabildo de Tenerife, Mayo 2018. [En línea]. Available: https://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234263746_Qu__es_la_energ_a_fv_ITER.pdf.
- [3] S. B. Shutterstock, «Cómo funcionan las células solares fotovoltaicas,» Ecoinventos, 4 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://ecoinventos.com/celulas-solares-fotovoltaicas/>.
- [4] M. S. Hernandez, «Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos Aislados,» Universidad Carlos III de Madrid, Diciembre 2018. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/330141118_Dimensionado_de_Sistemas_FOTOVOLTAICOS_Aislados.
- [5] G. B. Ferney Abril, «Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de bajo costo para alimentar un circuito cerrado de televisión,» Universidad Católica de Colombia, 2016. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15001/1/Trabajo%20de%20Grado%20ROMPIENDO%20CADENAS.pdf>.
- [6] Renova, «Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados,» Renova, [En línea]. Available: <https://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-fotovoltaica-conexion-de-red/>.
- [7] «Sistema Fotovoltaico conectado a la red,» Ujaen, [En línea]. Available: http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/05_tipos/02_conec_red/01_basico/2_conec_red.htm.
- [8] G. d. I. R. d. Ecuador, «Instituto de investigación geológico y energético,» Instituto de investigación geológico y energético, [En línea]. Available: <https://www.geoenergia.gob.ec/>.

- [9] «Corporación para la Investigación Energética,» Corporación para la Investigación Energética, [En línea]. Available: <http://energia.org.ec/cie/>.
- [10] A. Cuenca, *Dimensionamiento de sistemas FV*, Quito: Alan Cuenca, 2021.
- [11] E. y. a. andina, «Capacitación e instalación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades de Carmen del Emero y Yolosani,» 2019. [En línea]. Available: <http://energiayambienteandina.net/pdf/WCS%20-%20CAPACITACI%C3%92N%20E%20INSTALACI%C3%92N%20DE%20SISTEMAS%20FOTOVOLTAICOS.pdf>.
- [12] WindyNation, «WindyNation,» [En línea]. Available: <https://www.windynation.com/Polycrystalline-Solar-Panels/Windy-Nation-Inc/30-Watt-12-Volt-Polycrystalline-Photovoltaic-Solar-Panel/-/221?p=YzE9NDU=>.
- [13] WindyNation, «WindyNation,» [En línea]. Available: https://www.windynation.com/cm/P20L%20Controller%20Manual_R1.pdf.
- [14] Truper, «Truper,» [En línea]. Available: <https://www.truper.com/admin/descargables/manual/10448.pdf>.
- [15] BOSCH, «BOSCH,» [En línea]. Available: http://www.boschautopartes.com/media/la/aa_sites_la/products_and_services/automotive_parts/bikes/download_10/Folder_motocicletas.pdf.
- [16] G. TOOLS, «GENERAL TOOLS,» [En línea]. Available: https://www.testequipmentdepot.com/general-tools/pdfs/dbtu1300_manual.pdf.
- [17] D. Edge, «Amazon,» [En línea]. Available: https://www.amazon.com/gp/product/B00076P5TI/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o02_s01?ie=UTF8&psc=1.
- [18] S. & OEM, «chinasuntree,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/2TyRSwe>.
- [19] INTWATT, «alibaba,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/36XT7bo>.

- [20] M. Group, «Amazon,» [En línea]. Available: https://www.amazon.com/-/es/gp/product/B07JB9B2QL/ref=ppx_od_dt_b_asin_title_s00?ie=UTF8&th=1.
- [21] M. GROUP, «Amazon,» [En línea]. Available: https://www.amazon.com/-/es/multifunci%C3%B3n-ampliamente-mult%C3%ADmetro-amper%C3%ADmetro-volt%C3%ADmetro/dp/B07T9LV66P?pd_rd_w=hY5AF&pf_rd_p=a59ad5aa-a4a4-475e-bb56-36a494e17cea&pf_rd_r=75GTT1ZWFACY3WBWP5AT&pd_rd_r=ff228a06-6698-4600-83c9-c43acbd94619&p.
- [22] Bayite, «Amazon,» [En línea]. Available: https://www.amazon.com/-/es/gp/product/B013PKYILS/ref=ppx_od_dt_b_asin_title_s00?ie=UTF8&p;psc=1.
- [23] BougeRV, «Amazon,» [En línea]. Available: https://www.amazon.com/gp/product/B073TX1N5Q/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o02_s02?ie=UTF8&p;psc=1.
- [24] SCINERGY, «Atlas Solar del Ecuador,» [En línea]. Available: https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf.
- [25] Xiaomi, «xataka,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3glAqE4>.
- [26] Dell, «Dell,» [En línea]. Available: <https://dell.to/3gygQmW>.
- [27] AmpFlow, «Amazon,» [En línea]. Available: <https://amzn.to/353AXnl>.
- [28] P. Led, «Mercado Libre,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/2U0A3WJ>.
- [29] Sylvania, «Sylvania,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/2TSgKPs>.
- [30] Wella, «beautymarket,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3vvk0xa>.
- [31] Amazon, «Amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/>.

[32] M. Libre, «Mercado Libre,» [En línea]. Available:
<https://www.mercadolibre.com.ec/>.

ANEXOS

ANEXO 1: CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R

Quito, 18 de agosto de 2021

CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE PROYECTO DE TITULACIÓN

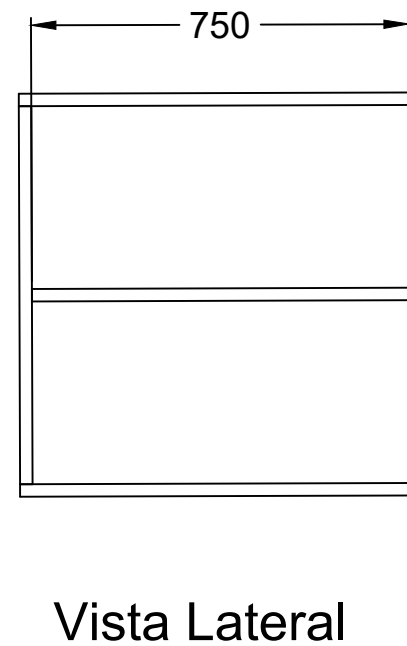
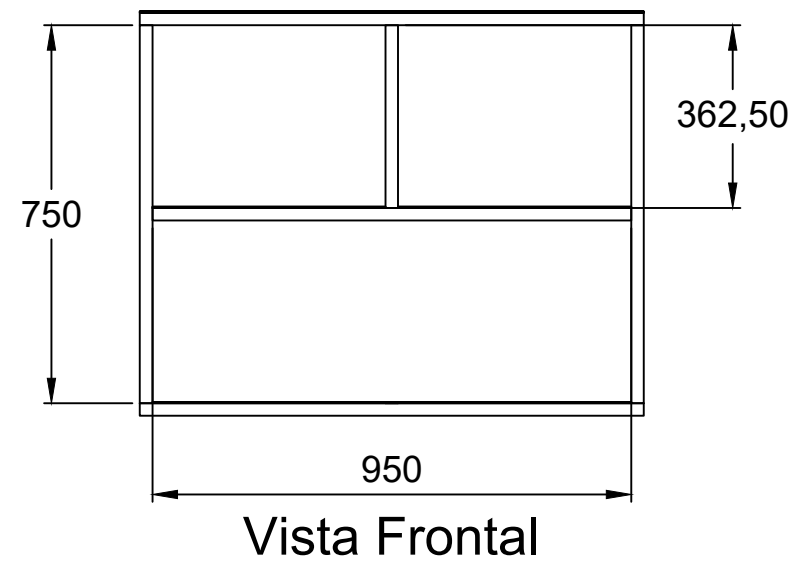
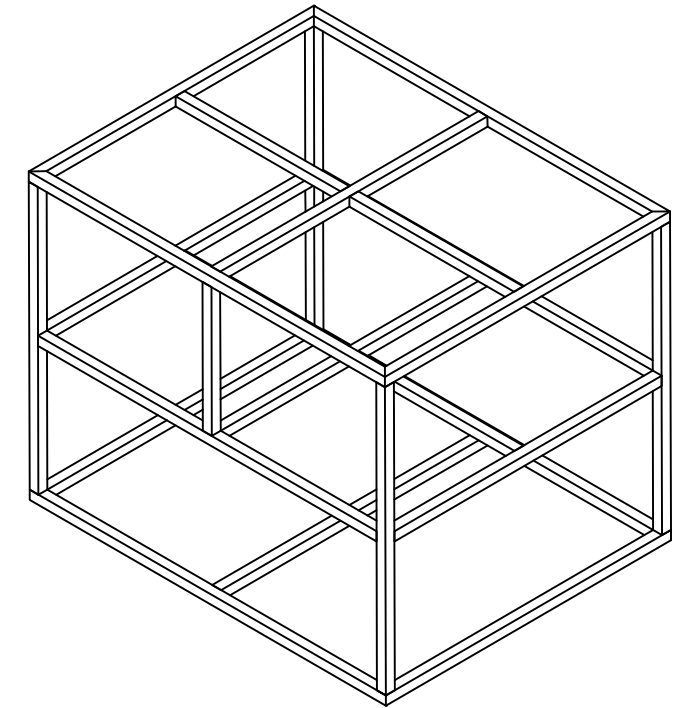
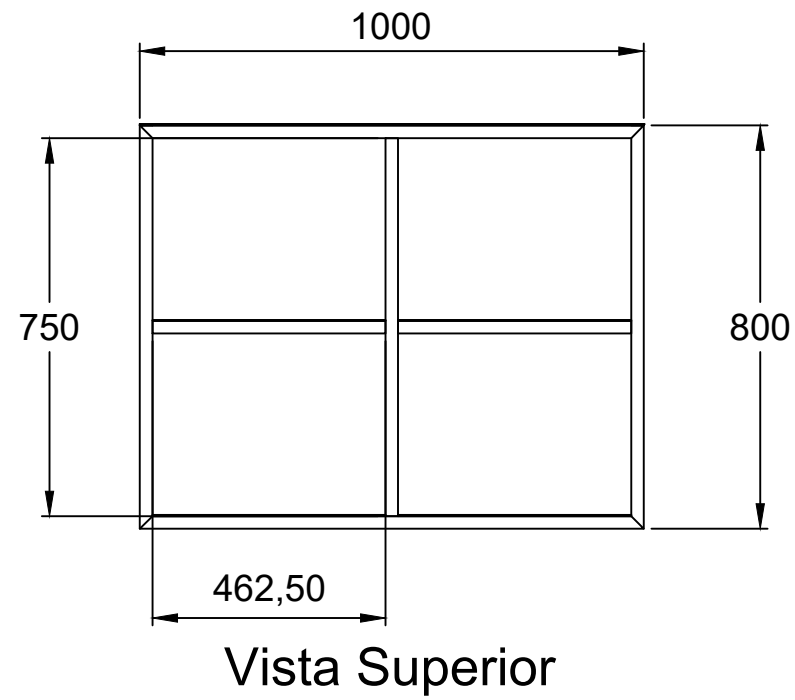
Yo, *ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ*, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de titulación, certifico que he constatado el correcto diseño del sistema aislado de energía fotovoltaica para los módulos didácticos del LTI-ESFOT, el cual fue realizado por los estudiantes Reyes Stalin y Velez Erick.

El proyecto cumple con los requerimientos de diseño y parámetros necesarios para la futura implementación de los módulos didácticos de energía solar fotovoltaica en el LTI-ESFOT.

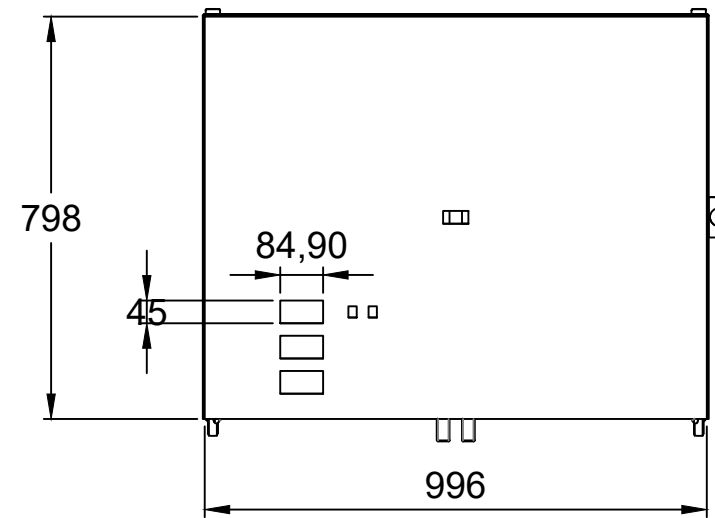
DIRECTOR

Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez., Msc.

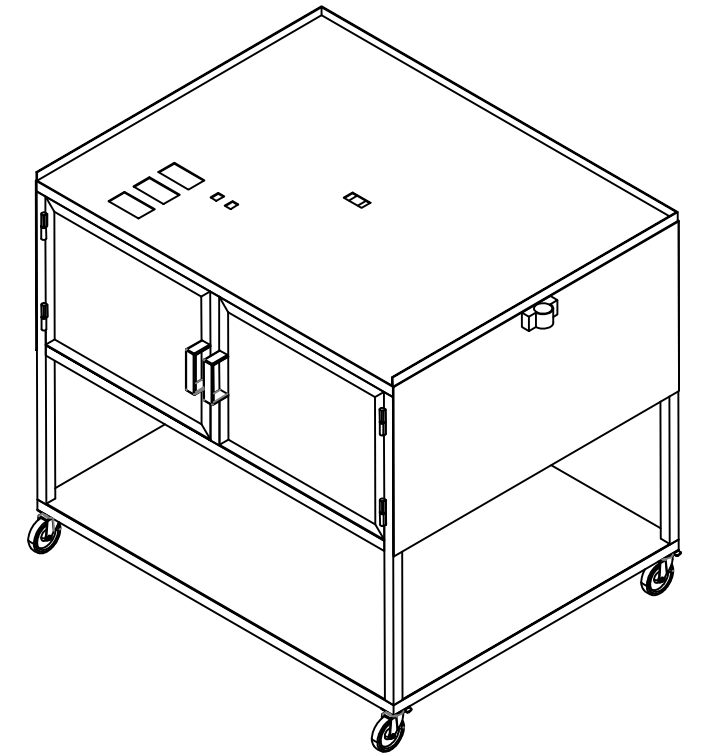
ANEXO 2: PLANOS MECÁNICOS



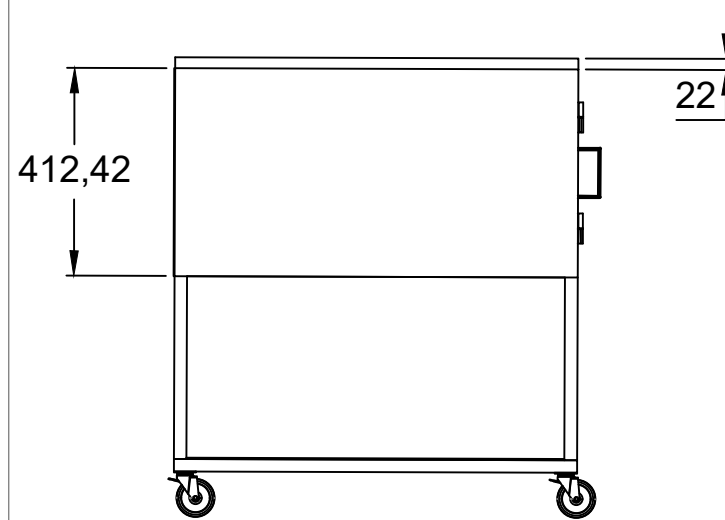
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
Mesa de Trabajo	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: METAL
	ESCALA: 1:15	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: Stalin Lenin Reyes Soledispa Erick David Velez Vera	FECHA: 18-08-2021	LÁMINA: N°1



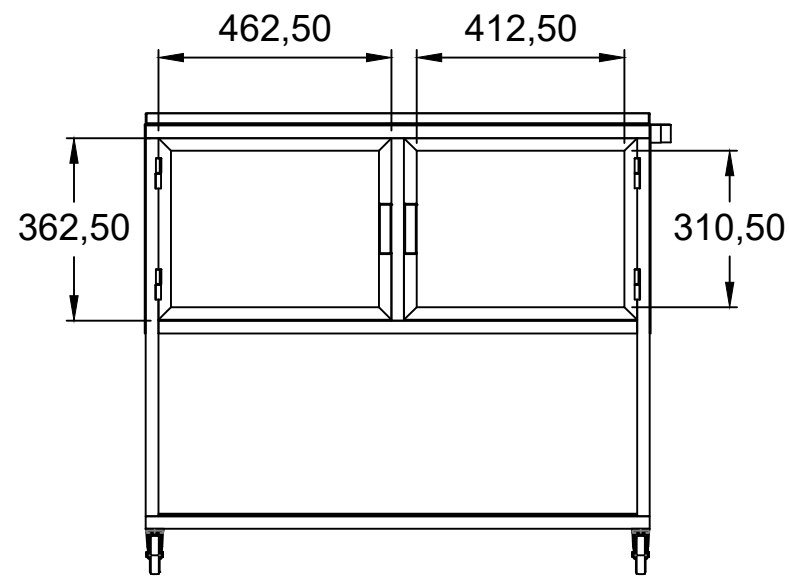
Vista Superior



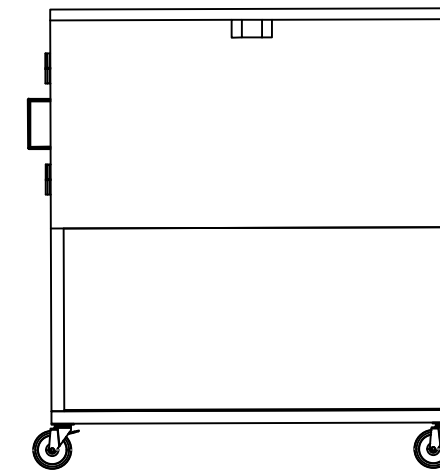
Vista Isométrica



Vista Lateral

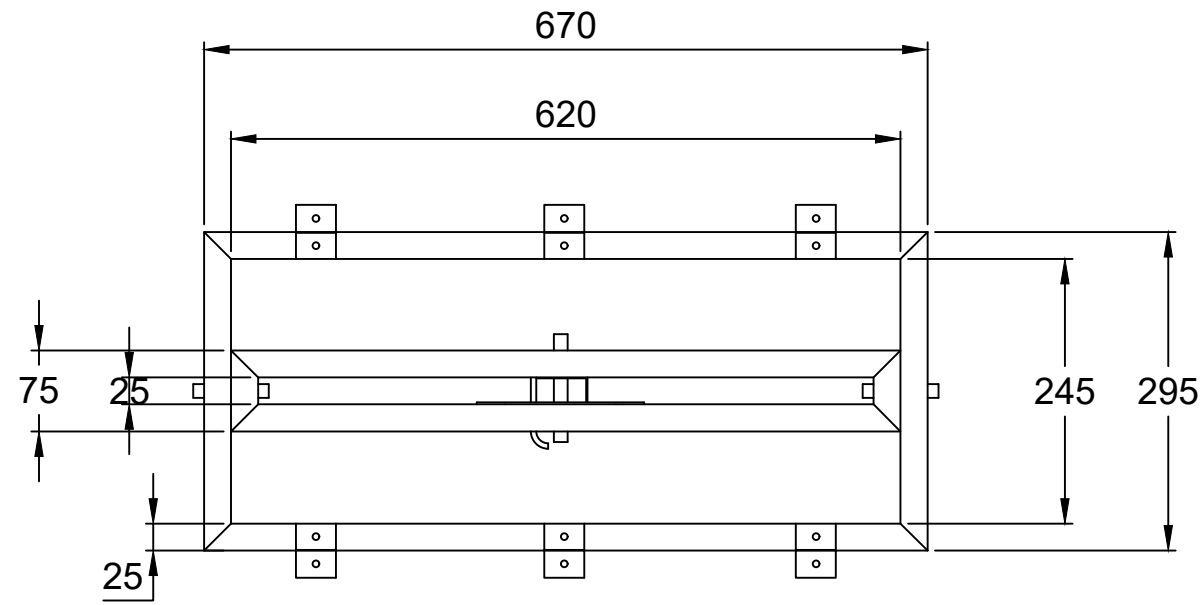


Vista Frontal

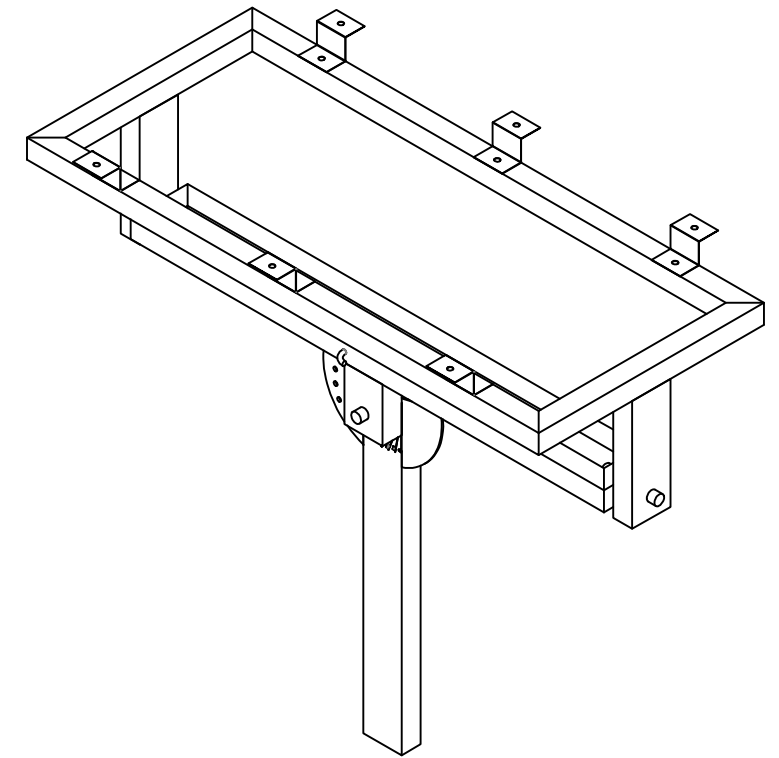


Vista Lateral

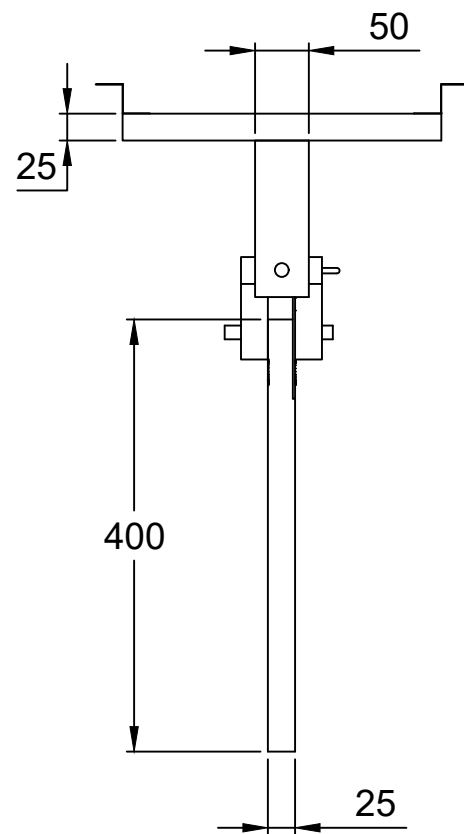
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
Soporte de Panel	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: METAL
	ESCALA: 1:15	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: Stalin Lenin Reyes Soledispa Erick David Velez Vera	FECHA: 18-08-2021	LÁMINA: N°2



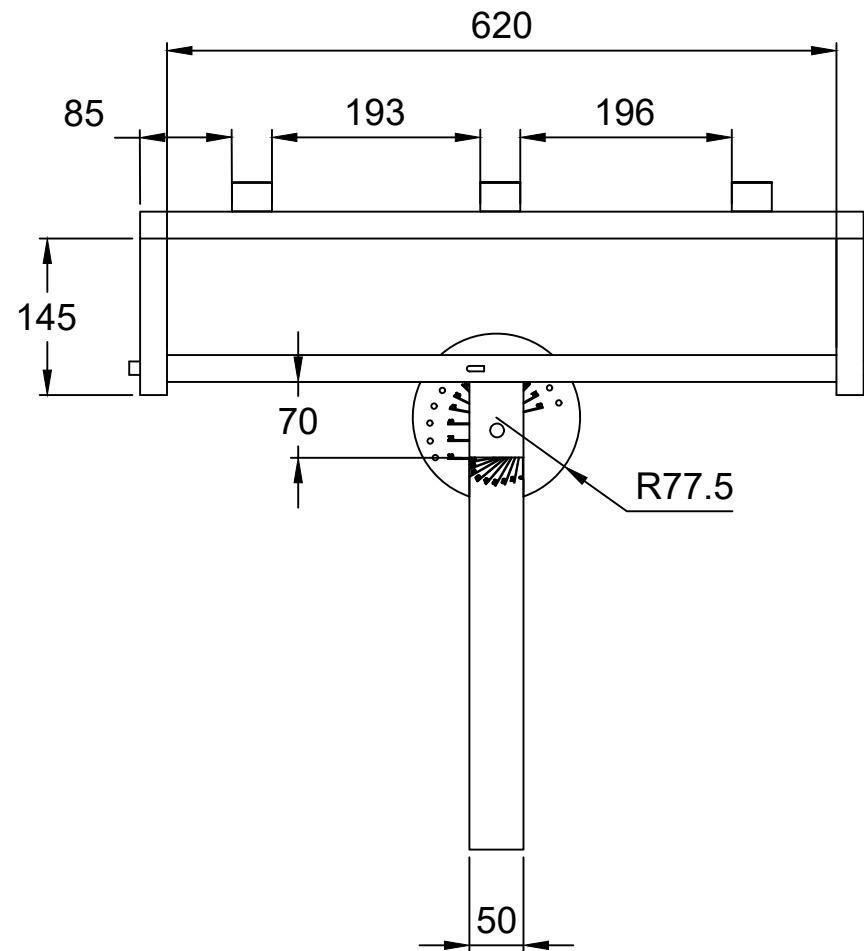
Vista Superior



Vista Isométrica

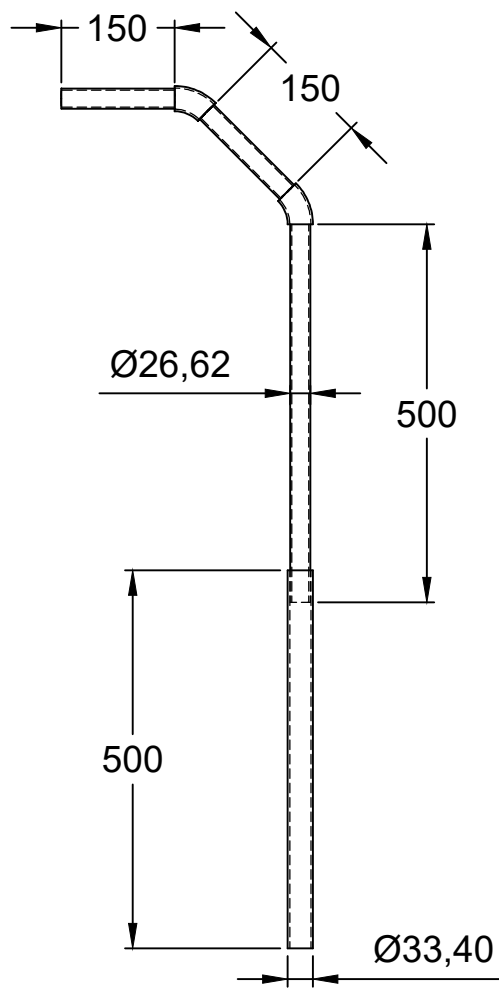


Vista Lateral

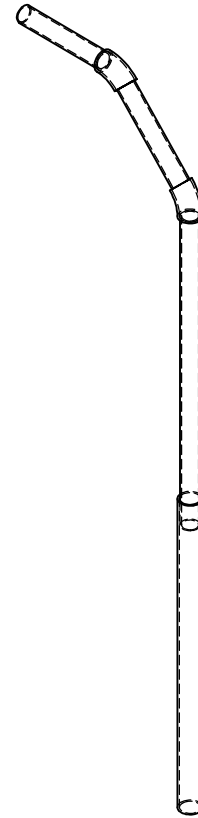


Vista Frontal

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
Soporte de Panel	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: METAL
	ESCALA: 1:7	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: Stalin Lenin Reyes Soledispa Erick David Velez Vera	FECHA: 18-08-2021	LÁMINA: N°3



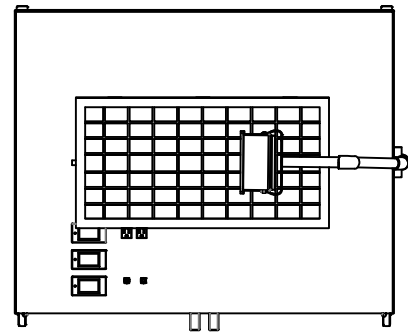
Vista Frontal



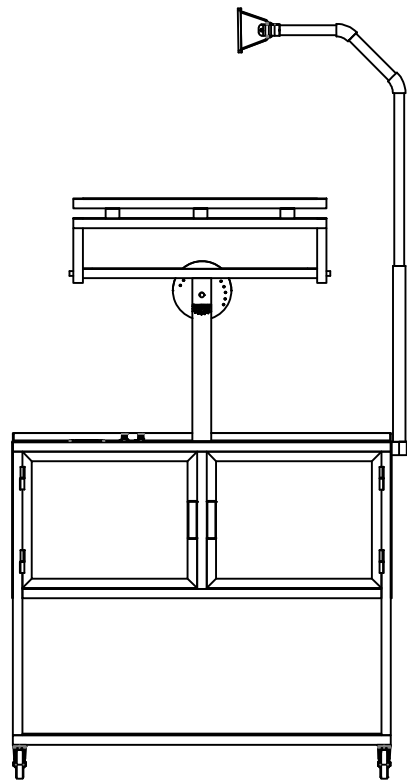
Vista Isométrica

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

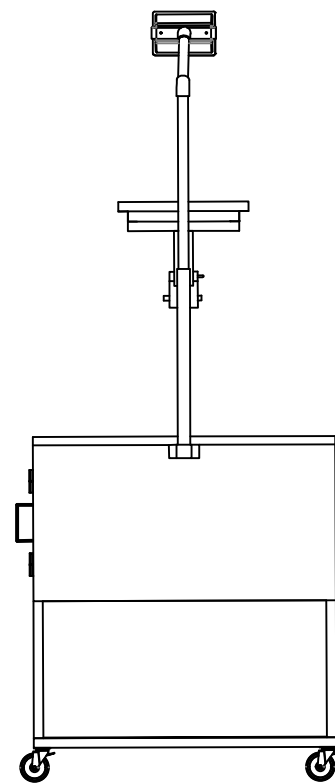
Sistema de Movimiento de Lámpara	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: METAL
	ESCALA: 1:10	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Stalin Lenin Reyes Soledispa Erick David Velez Vera	FECHA: 18-08-2021	LÁMINA: N°4



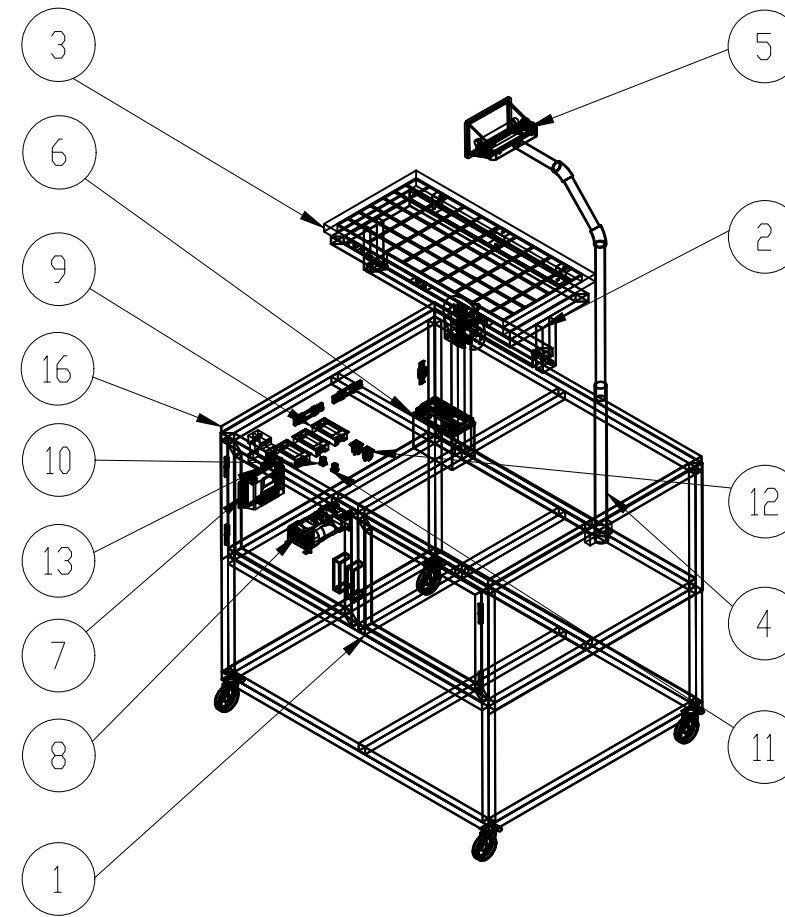
Vista Superior



Vista Frontal



Vista Lateral

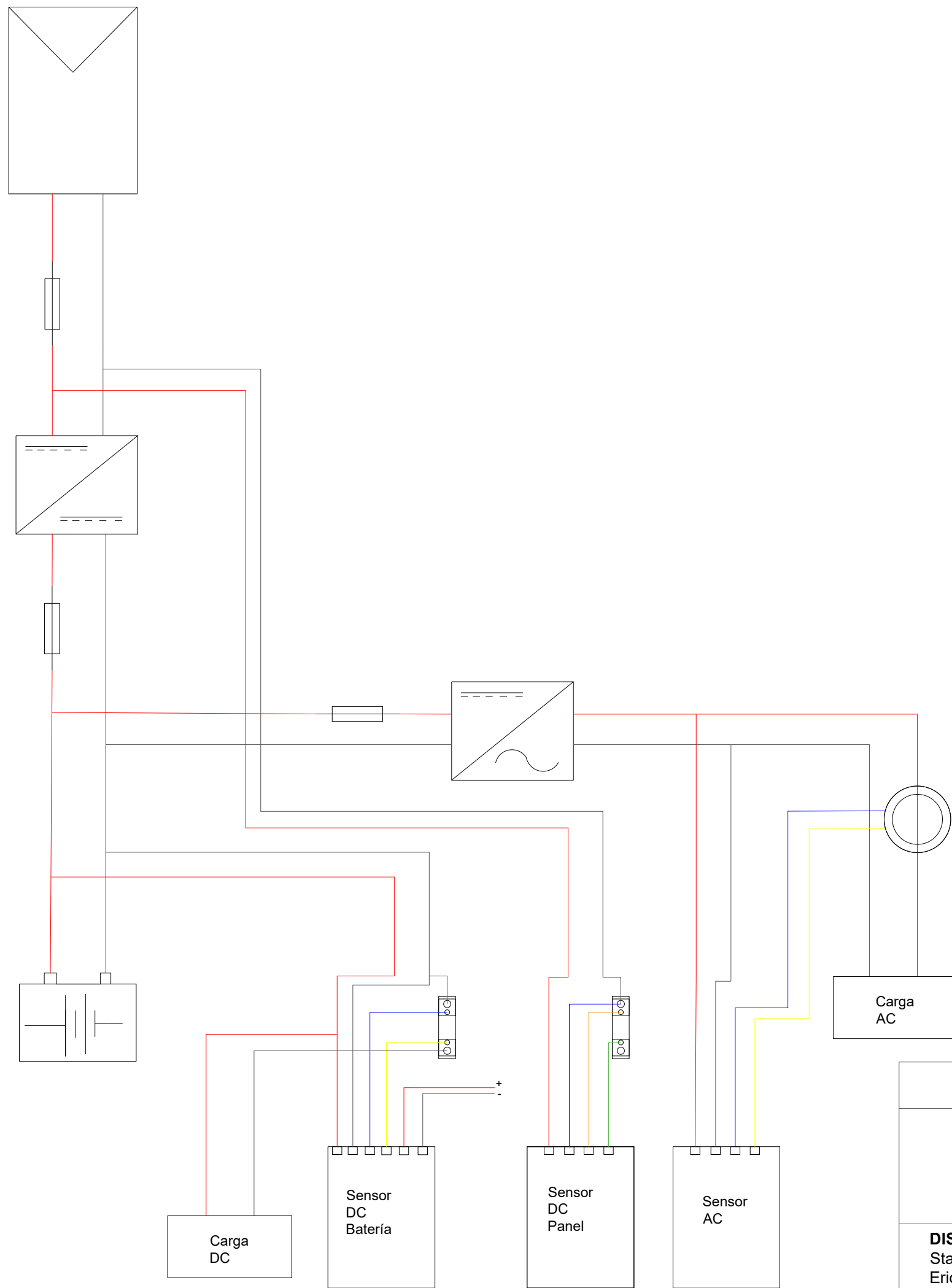


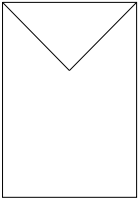
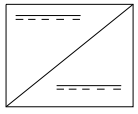
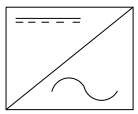
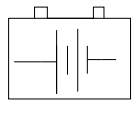
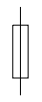
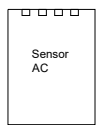
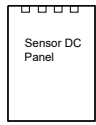
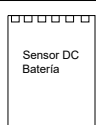
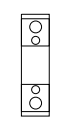
Vista Isométrica

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA
1	Mesa de trabajo
2	Soporte del panel
3	Panel solar
4	Sistema de movimiento de la lámpara
5	Lámpara halógena
6	Batería
7	Controlador de carga
8	Inversor
9	Sensor multifunción
10	Bornera positiva
11	Bornera negativa
12	Conector AC
13	Fusible DC

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
Plano general del sistema	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: METAL
	ESCALA: 1:20	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: Stalin Lenin Reyes Soledispa Erick David Velez Vera	FECHA: 18-08-2021	LÁMINA: N°5

ANEXO 3: PLANO ELÉCTRICO



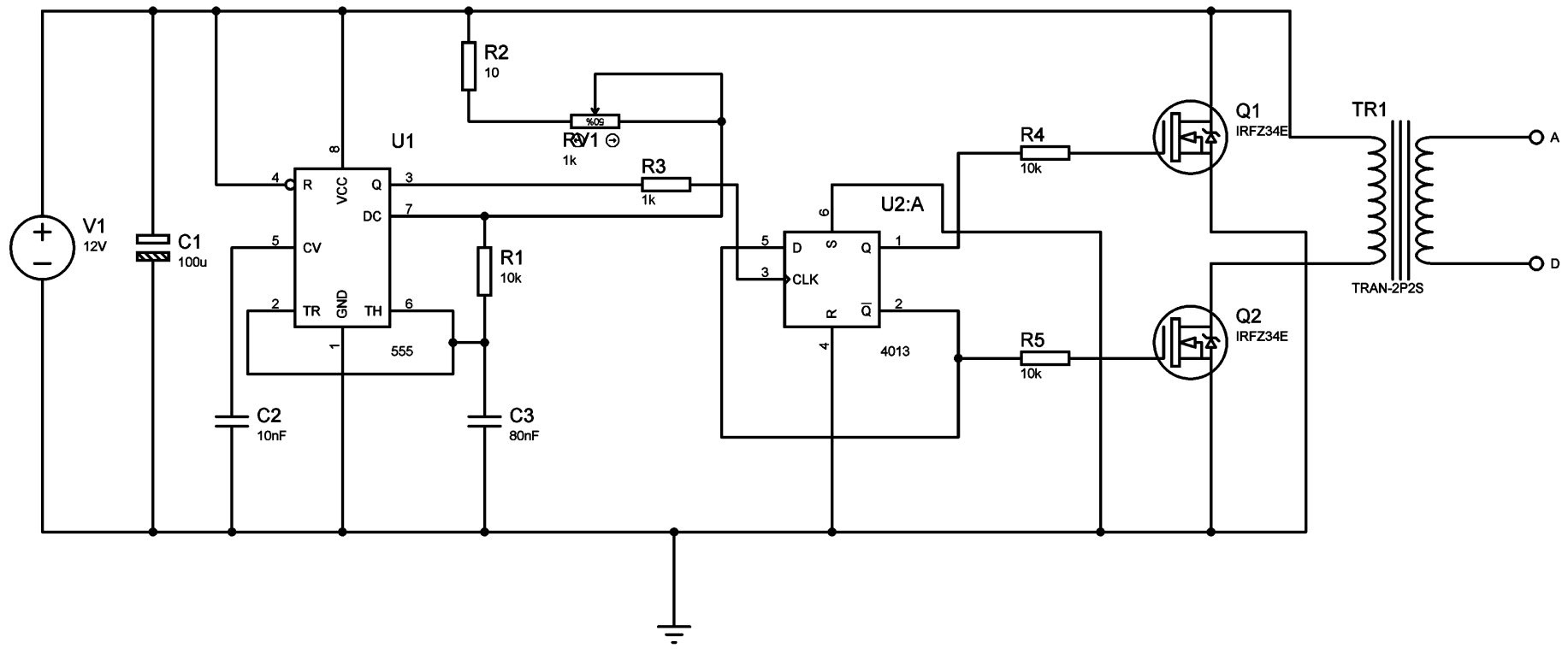
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	PANEL FOTOVOLTAICO
	CONTROLADOR
	INVERSOR DC/AC
	BATERÍA
	FUSIBLE
	SENSOR MULTIFUNCIÓN AC
	SENSOR MULTIFUNCIÓN DC PANEL
	SENSOR MULTIFUNCIÓN DC BATERÍA
	FL (SHUNT)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Esquema eléctrico	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: N/A
	ESCALA: N/A	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: Stalin Lenin Reyes Soledispa Erick David Velez Vera	FECHA: 18-08-2021	LÁMINA: N°1

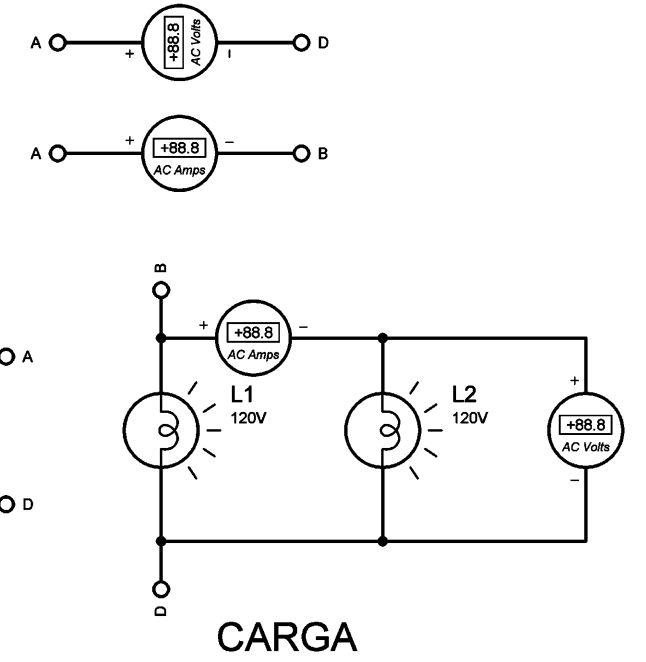
ANEXO 4: ESQUEMA ELECTRÓNICO

PANEL FOTOVOLTAICO



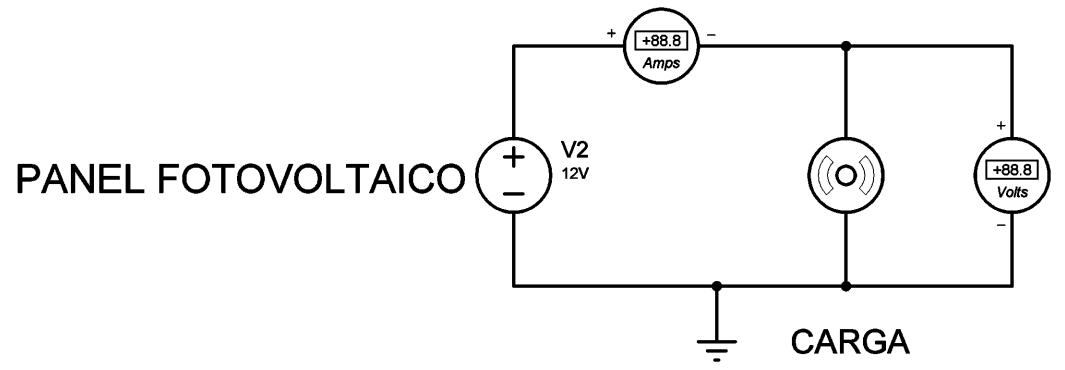
INVERSOR DC/AC

SENSOR MULTIFUNCIÓN AC



CARGA

SENSOR MULTIFUNCIÓN DC



CARGA

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

Sensores multifunción	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: N/A
	ESCALA: N/A	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: Stalin Lenin Reyes Soledispa Erick David Velez Vera	FECHA: 18-08-2021	LÁMINA: N°1

ANEXO 5: HOJAS TÉCNICAS DE COMPONENTES

DC digital multi-function meter

Product Model: PZEM-051

A. Specification

1. Input voltage: 6.5~100VDC
2. Voltage measurement range: 6.5~100VDC
3. Rated power: 100A/10000W
4. Measurement accuracy: 1.0 grade
5. Mounting dimension: 84.6mm(L)x44.6mm(W)x24.4mm(H)
6. **This meter is for indoor use only. It's not waterproof**

B. Function

1. measure voltage, current, active power, energy
2. Voltage alarm function
3. energy reset function
4. store data automatically when power off.
5. Large-screen LCD (display voltage, current, active power, energy at the same time)
6. Back-light function.

C. Display and Key function

I. Display format

Parameter	Measure range	Display format
Power	0~10kW	Within 1KW, display 0.0~999.9W. 1KW and above, display 1000~9999W.
Energy	0~9999kWh	Within 10kWh, display 0~9999Wh. 10kWh and above, display 10~9999kWh.
Voltage	6.5~100V	Display 6.50~99.99V
Current	0~100A	Display 0.00~99.99

II. Functions of the Key

1. Back-light control

Single Click the key to turn on/off the back-light, it has memory function which can automatically store the state of on or off when the power is off.

2. Reset energy

Step1: Press and hold the key until '**CLr**' appears and flickers at the bottom left of the screen. Then release the key.

Step2: At this time, the reading of energy is flashing, which means the energy reading can be reset. If single click the key again, the readings of energy will be cleared out and accordingly exit the energy reset progress.

Step 3: If there is no operation within 5 seconds, the readings of energy would not be cleared out and the meter would just quit the energy reset progress.

3. Voltage alarm setting

The range of the voltage alarm threshold is **6.5~99.9V**.

Step1: Press and hold the key until '**SET**' appears and flickers at the bottom left of the screen, then release the key.

Step2: Now you can see 2 values on 2 sides of letter 'V'. The left one is high volts alarm value. The right one is low volts alarm value. Each click on the key will plus add 1 to the flashing number. If there is no operation over 3 seconds, the flashing will jump to next digit and then you can adjust it.

Step3: After finishing the setting, press and hold the key until the screen display "**PASS**", that means the setting for voltage alarm value has accomplished and then it will quit the setting progress automatically.

4. Choose right measuring range for shunt

Step1: Press and hold the key until '**Curr**' appears and flickers at the bottom left of the screen. Then release the key.

Step2: now you can see "100A" displayed at the top left of the screen. Single click the key to switch between '100A' and '50A'. If

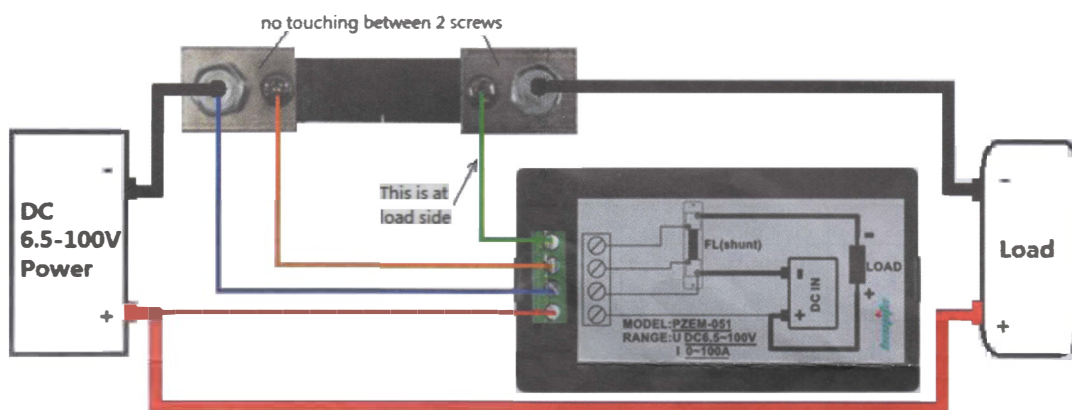
you're using a **100A/75mV** shunt, please choose 100A. If you're using a **50A/75mV** shunt, please choose 50A. Please note that this meter can only use these two kinds of shunt. (The default measurement range is 100A. The shunt comes with the meter is 100A/75mV. So you don't need change this setting unless you changed the shunt.)

Step3: Press and hold the key to exit setting. It would automatically store the setting and quit the progress if there's no operation over 3 seconds.

D. Wiring diagram

(URL of diagram for solar system: <http://goo.gl/2fdW5e>)

1. The sequence of the wires can't be wrong. Please wire exactly as showed. The green cable is at the load side. The orange cable is at the power source side.
2. The blue wire from the meter must be connected to the big bolt on shunt. Don't connect it directly to the negative terminal on power. It looks the same. But it does make difference in some rare cases.
3. Wires to the meter can be thin cables because there's no high current going through them.
4. **Don't connect shunt at the positive side of the circuit.**



E. Trouble Shooting:

1. It displays 888s once I turn on the DC-AC inverter in circuit.

Firstly, please make sure the shunt is not in positive line. Please wire exactly the diagram showed above.

And make sure the rated current of the DC power source is higher than the current that the load draws, especially when you're using a DC to AC inverter as load. For example, if the DC input is 12V and AC device after the inverter is 480W, then the rated current of the DC power source must be over 40A (please consider power loss of inverter). Otherwise, the meter will display all 888s on screen. (URL of diagram with inverter: <http://goo.gl/BB4oE6>)

2. It's OK to measure low voltage. But screen keeps flashing once the voltage is over a certain value.

Please read **Voltage alarm setting** section in the manual. You might have changed the default voltage alarm setting.

3. Voltage is correct. But current is zero.

This is usually caused due to wrong wiring. Please check if the sequence of the wires on shunt is correct.

4. A large margin of error?

Please read **Choose right measuring range for shunt** section in manual. The shunt comes with the meter is 100A shunt. Make sure measuring range should be 100A in setting.

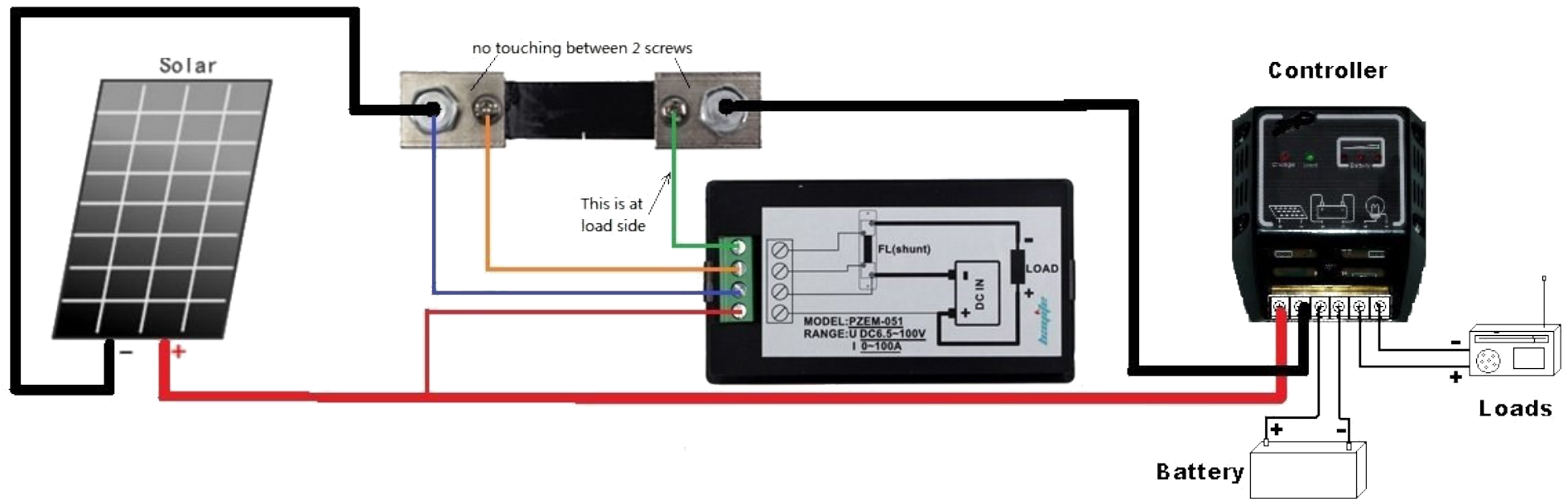
5. It displays random current reading.

If you don't connect shunt to the meter, the current reading is a random number which means nothing.

6. Can I just use the meter to measure voltage without connecting the shunt?

Sure. That's not a problem. But the current reading is a random number which means nothing. And in rare case, you might encounter a problem: The meter displays 888s for a short time and then back to normal again. That's because you touch the shunt terminals with your finger or conductor which makes a connection between meter and the earth. It will be ok if you keep the shunt terminals on meter insulated to earth.

DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SENSOR MULTIFUNCIÓN PZEM-051



Product Introduction

This document describes the specification of the PZEM-015DC multifunction battery tester, this meter is mainly used to test all kinds of battery's voltage, discharge current, discharge power, discharge impedance, internal resistance, capacity, dump energy, energy consumption and running time, and display the measurement data through an LCD screen.

PZEM-015: Measuring Range 300A (use external shunt, can be matched with a 50A, 100A, 200A or 300A shunt).

Product Features

- » Measuring DC voltages ranging 0.05 – 200V (independent power supply required for voltages < 8V)
- » Measuring DC currents ranging 0.02 – 300A
- » Measuring power ranging 0.2 – 60 000W
- » Measuring impedance 0 – 1000 ohm
- » Measuring internal resistance 0 – 999 milli-ohm
- » Measuring capacity 0 – 1000 AH
- » Calculates linear state of charge 0 – 100% (in 10% increments)
- » Calculates accumulated energy consumption 0 – 9999 kWh
- » Displays total running times 0 – 999 h (for information only)

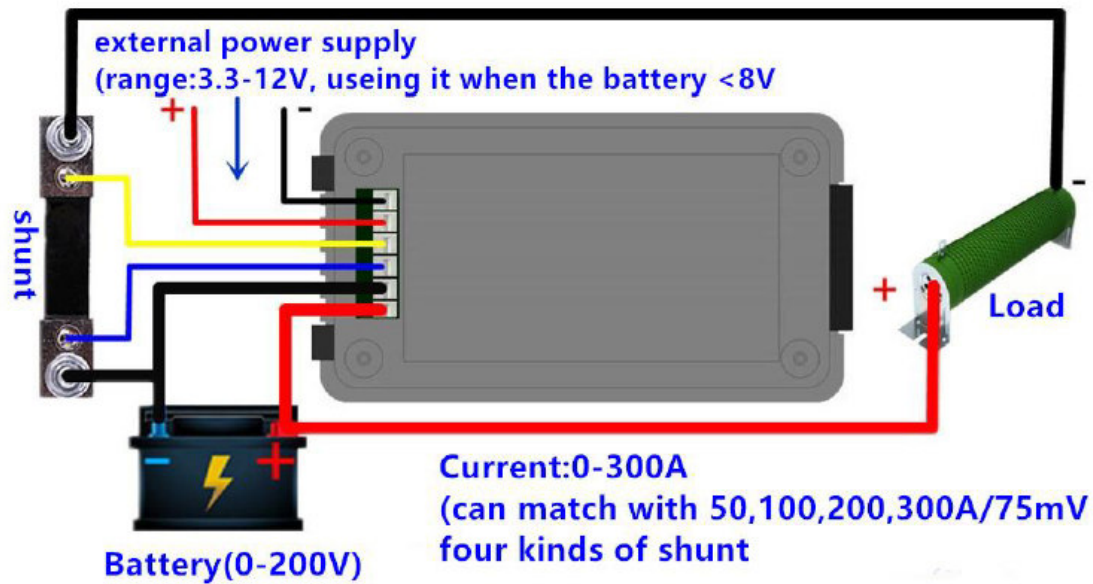
Technical Specification

Voltage:	0.05 – 200V DC Minimum resolution 0.01V Accuracy 1%
Current:	0.02 - 10A Minimum resolution 1 mA Accuracy 1%
Power:	0.2 – 60 000W Minimum resolution 0.01W Accuracy 1%
Impedance:	0 – 1000 ohm Minimum resolution 0.1 ohm Accuracy 1%
Internal resistance:	0 – 999 mile-ohm Minimum resolution 1 milli-ohm Accuracy 1% Calculated: Internal resistance = (Full voltage - load voltage) / load current NB: when the load voltage is larger than the maximum voltage, the internal resistance is zero.
Capacity:	0 – 1000AH Minimum resolution 1 mAH Accuracy 1% NB: the full voltage and cut-off voltage need to be set prior to running a capacity test. It is recommended to use the float voltage for “full voltage” setting.
State of charge indication:	Linear calculation based on the difference between full voltage and cut-off voltage, equally divided into 10 grids.
Accumulated energy:	0 – 9999 kWh Minimum resolution 1 Wh Accuracy 1%
Running time	0 – 999h

INSTALLATION

Please connect the cable in the correct order as shown in the figure below.

The “load” can be any device that consumes DC power such as a motor, resistor or even an inverter.



Setting up

Set the full voltage and cut-off voltage:

- I. When the device is connected, it will show the display screen like Figure 1 below.
- II. Press and hold the button until the display screen changes to Figure 2 below. Release the button if it has changed.
- III. Press and hold to go into “Set” until the display screen changes to Figure 3 below. Release the button if it has changed.
- IV. It will start to cycle through the digits by means of flashing the digit which can be changed. Press the button once to change a digit at the desired location. Wait for the cycle to move on to the next digit, it will start to flash when it is ready to be changed.
- V. When the desired value is input, press and hold the button to store the value.
- VI. The screen will change to Figure 5. This is the cut-off voltage setting page.
- VII. It will start to cycle through the digits by means of flashing the digit which can be changed. Press the button once to change a digit at the desired location. Wait for the cycle to move on to the next digit, it will start to flash when it is ready to be changed.
- VIII. When the desired value is input, press and hold the button to store the value.
- IX. The screen will return to the main screen.

The following settings can be used:

Battery	Configuration	Full voltage value	Cut-off voltage value
The Sun Pays AGM/Gel	12V	13.6V	11.4V
The Sun Pays AGM/Gel	24V	27.2V	22.8V
The Sun Pays AGM/Gel	48V	54.4V	45.6V
The Sun Pays 100AH 48V LiFePO4	48V	51.5V	47.4V
The Sun Pays 30AH 12V LiFePO4	12V	14.4V	10.5V

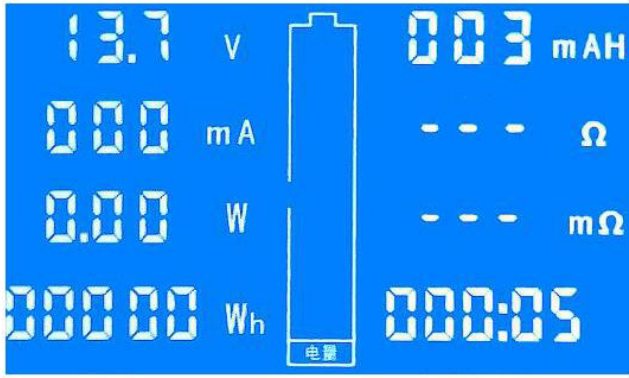


Figure 1: the normal display interface

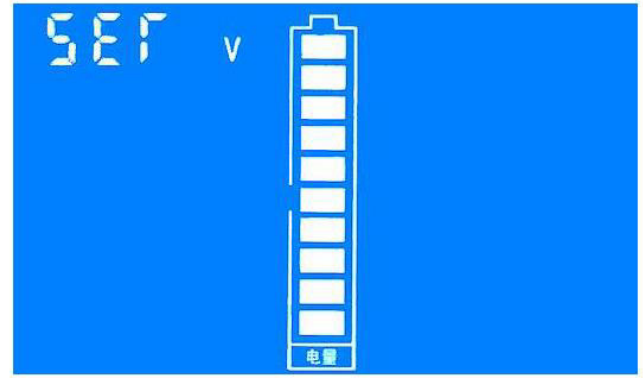


Figure 2: the voltage setting interface

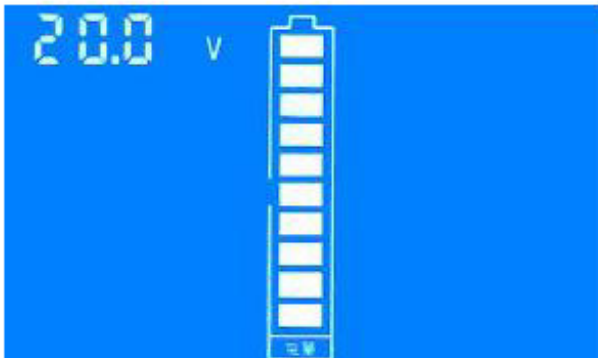


Figure 3: full voltage setting interface (low bit)

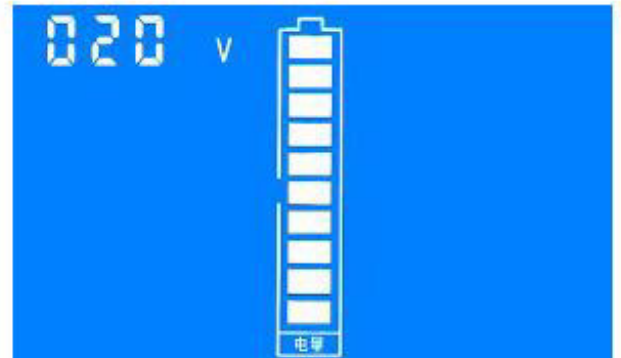


Figure 4: full voltage setting interface (high bit)

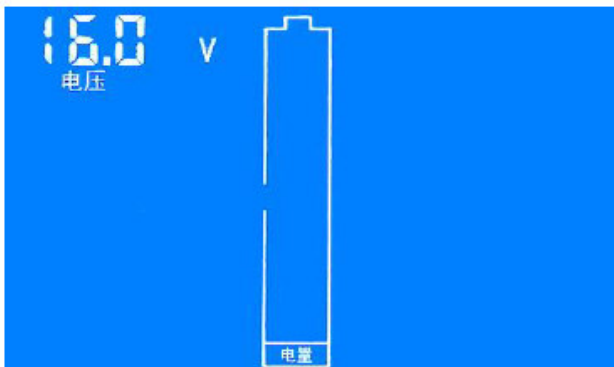


Figure 5: cut-off voltage setting interface
(low bit)

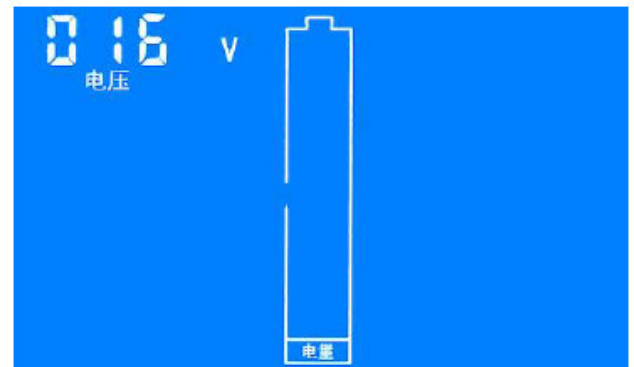


Figure 6: cut-off voltage setting interface
(high bit)

Setting the current range

Set the current range:

- I. When the device is connected, it will show the display screen like Figure 1 above.
- II. Press and hold the button until the display screen changes to Figure 2 above. Release the button if it has changed.
- III. Press the button again to cycle through the menu until "Set A" is reached. See Figure 7 below.

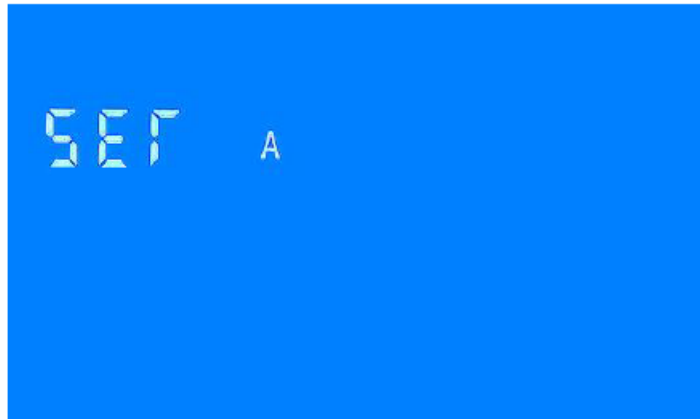


Figure 7 Current range setting interface

- IV. Press and hold the button to enter the setting until the screen has changed to Figure 8.
- V. Press the button to cycle through the various options. Choose the option for the correct shunt size that is installed by pressing and holding the button at the correct value.
- VI. The screen will return to the main screen.



Figure 8 Current range choosing interface

Other settings

To clear the memory for energy, capacity or running time

- I. When the device is connected, it will show the display screen like Figure 1 above.
- II. Press and hold the button until the display screen changes to Figure 2 above. Release the button if it has changed.
- III. Press the button again to cycle through the menu until "CLR" is reached. See Figure 9 below for the clear energy function. See Figure 10 below for the clear capacity function. See Figure 11 below for clear running time function.
- IV. Press and hold the button on the desired clear function.
- V. The screen will return to the main screen.



Figure 9 clear the energy interface

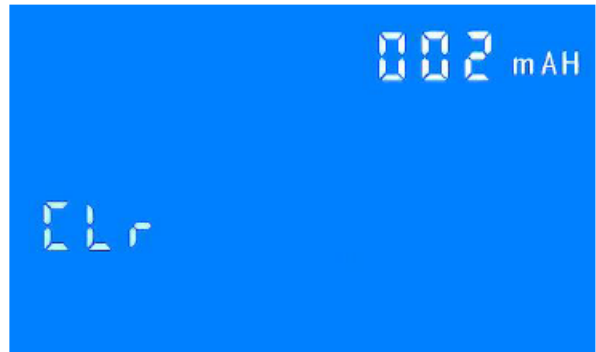


Figure 10 clear the capacity interface

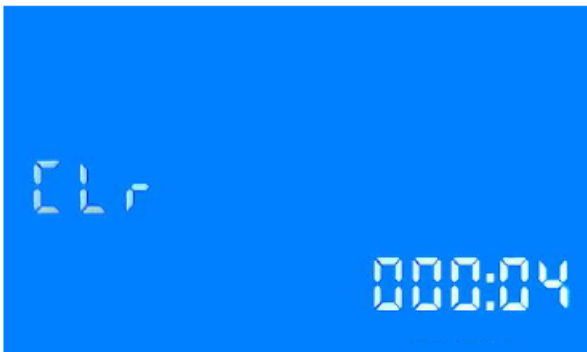


Figure 11 clear the running tim interface

AC digital multi-function meter

Product type: PZEM-022

A. Function

1. Electrical parameter measurement function (voltage, current, active power, energy, frequency, power factor)
2. Overload alarm function (over power alarm threshold, backlight and power flashing to alarm).
3. Power alarm threshold preset function (can set power alarm threshold).
4. The energy can be reset use the key.
5. Store data when power off.
6. Large-screen LCD
7. Backlight function.

B. Appearance and Key function

I. Display Interface

Display interface is large-screen LCD, it can display six parameters at the same time.

II. Display format

1. Power: test range: 0~22000W, Starting measure power: 0.5W

<10W display format: 1.00~9.99W

<100W display format: 10.0~99.9W

<1000W display format: 100~999W

<10000W display format: 1.00~9.90kW

≥10000W display format: 10.0~22.0kW

2. Energy: test range: 0~999kWh

<1kWh display format: 0~999Wh

<10kWh display format: 1.00~9.99kWh

≥10kWh display format: 10~999kWh

3. Voltage: test range: 80~260V

Display format: 80~260V

4. Current: test range: 0~100A, Starting measure current: 0.02A

<10A display format: 0.000~9.000A

≥10A display format: 10.00~99.99A

5. Frequency: test range: 45~65Hz

Display format: 45~65Hz

6. Power factor: test range: 0~1PF

Display format: 0.00~1.00PF

III. Key

1. Backlight control

Short press the key to turn on or off the backlight, the backlight has memory function, it can store the on or off state when power off.

2. Reset energy

Step1: Long press the key for 5 seconds until the energy value flash, then release the key.

Step2: Short press the key again, then the energy value is cleared and exit the reset flashing state.

Step3: If there is no operation on the key within 5 seconds, it means the energy value is not cleared and will exit the reset state.

3. Set power alarm threshold

Step1: Long press the key until the LCD screen display "SET CLr", then release the key to enter the setting state

Step2: Power window display the current power alarm value and the last digit begin to flash, then you can short press to plus 1, when there is no operating over 3 seconds, it will switch the digit position automatically, the setting method is as same as the above.

Step3: After finish the setting, long press the key over 5 seconds will store automatically and exit, the range of active power threshold is 0.0~22kW.

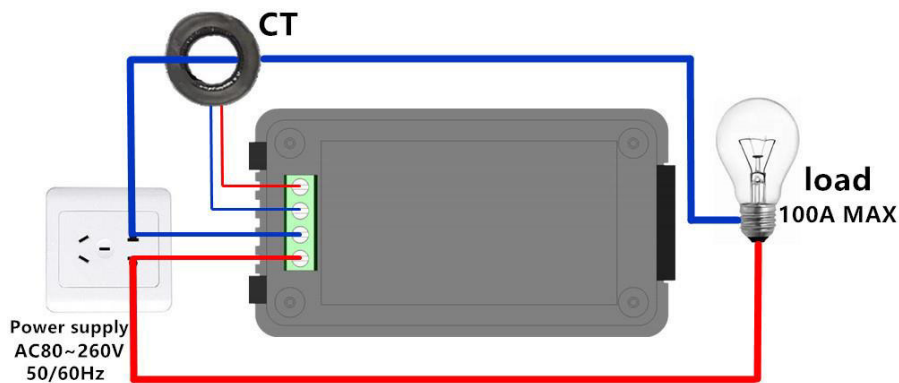
C. Precautions

1. This module is suitable for indoor, please do not use outdoor.
2. Applied load should not exceed the rated power.
3. Wiring order can't be wrong.

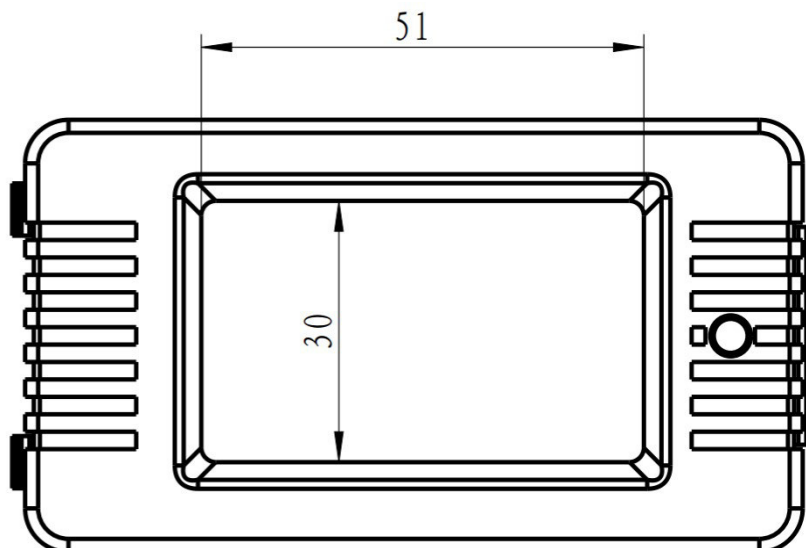
D. Specification parameters

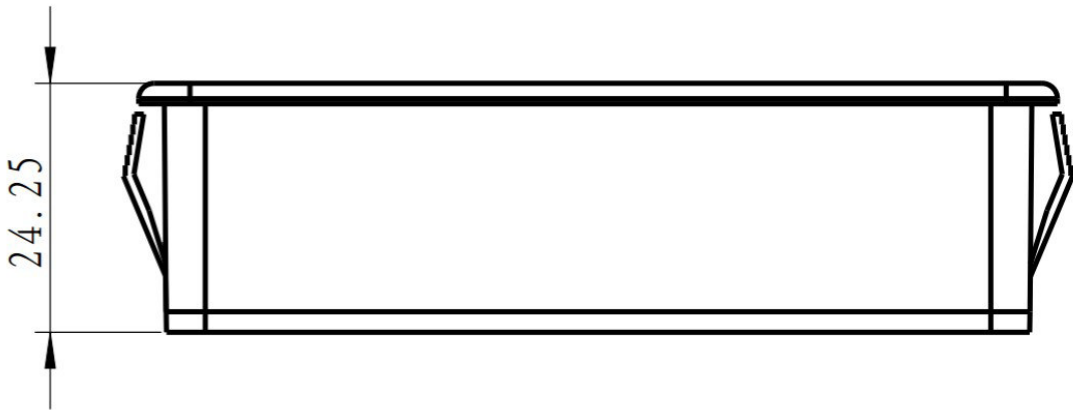
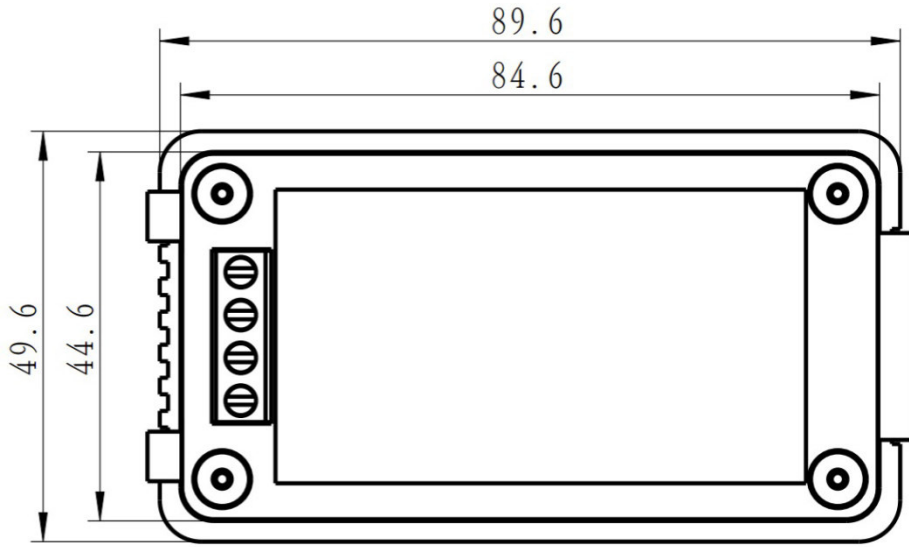
1. Working voltage: 80 ~ 260VAC
2. Test voltage: 80 ~ 260VAC
3. Rated power: 100A/22000W
4. Operating frequency: 45-65Hz
5. Measurement accuracy: 1.0 grade

E. Wiring diagram

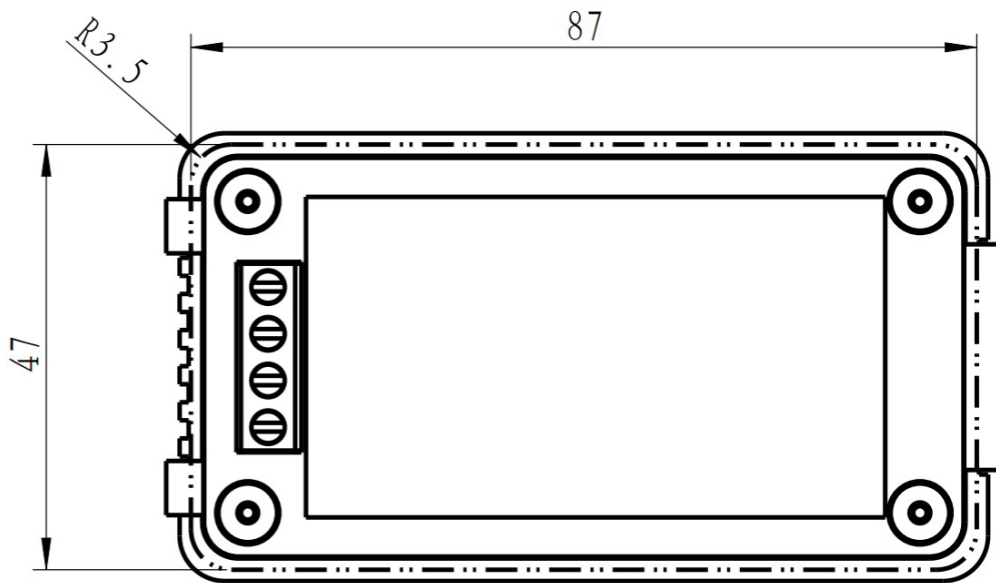


F. dimension diagram (mm)





G. Hole Size(mm)



ANEXO 6: INFORME PVSYST

Sistema Aislado: Parámetros de la simulación

Proyecto : Proyecto Tesis

Lugar geográfico Esfot EPN País Ecuador

Ubicación Latitud -0.21° S Longitud -78.49° W
 Hora definido como Hora Legal Huso hor. UT-5 Altitud 2850 m

Datos climatológicos: Esfot EPN Base del satélite NASA-SEE, 1983-2005 (modified by user) - Síntesis

Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Fecha de simulación 22/08/21 20h35

Parámetros de la simulación Tipo de sistema **Stand-alone system**

Orientación Plano Receptor Inclclinación 15° Acimut 0°

Modelos empleados Transposición Perez Difuso Perez, Meteororm

Características generador FV

Módulo FV Si-poly Modelo **DSM 30**
 Original PVsyst database Fabricante Van de Loo

Número de módulos FV En serie 1 módulos En paralelo 1 cadenas
 N° total de módulos FV N° módulos 1 Pnom unitaria 30 Wp
 Potencia global generador Nominal (STC) **30 Wp** En cond. funciona. 27 Wp (50°C)
 Caract. funcionamiento del generador (50°C) V mpp 16 V I mpp 1.7 A
 Superficie total Superficie módulos **0.3 m²**

Factores de pérdida Generador FV

Factor de pérdidas térmicas Uc (const) 20.0 W/m²K Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s

Pérdida Óhmica en el Cableado Res. global generador 160 mOhm Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC
 Pérdida Diodos en Serie Caída de Tensión 0.7 V Fracción de Pérdidas 3.9 % en STC
 Pérdida Calidad Módulo Fracción de Pérdidas 2.0 %
 Pérdidas Mismatch Módulos Fracción de Pérdidas 2.5 % (tensión fija)
 Strings Mismatch loss Fracción de Pérdidas 0.10 %
 Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE IAM = 1 - bo (1/cos i - 1) Parám. bo 0.05

Parámetro del Sistema Tipo de sistema **Sistema Aislado**

Batería Modelo **Solar PV 8GU1H**
 Fabricante Deka
 Características del banco de baterías Tensión 12 V Capacidad Nominal 8 Ah
 N° de unidades 1
 Temperatura Fijo (20°C)

Regulador Modelo Universal direct controller
 Tecnología Series Coef. temp. -5.0 mV/°C/elem.

Umbral de Regulación Baterías Threshold commands as SOC calculation
 Carga SOC = 0.90 / 0.75 i.e. approx. 14.7 / 12.5 V
 Descarga SOC = 0.20 / 0.45 i.e. approx. 11.7 / 12.2 V

Necesidades de los usuarios : Cons. domésticos diarios Constante durante el año
 media 0.0 kWh/Día

Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario

Proyecto : Proyecto Tesis

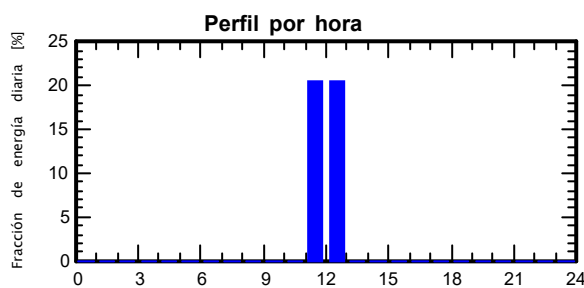
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Aislado		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	DSM 30	Pnom	30 Wp
Generador FV	N° de módulos	1	Pnom total	30 Wp
Batería	Modelo	Solar PV 8GU1H	Tecnología	Pb-ácido, cerrada, Gel
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	Global	14.9 kWh/año

Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 0.0 kWh/día

Valores anuales

	Número	Potencia	Utilización	Energía
Lamps (LED or fluo)	1	17 W/lámpara	2 h/día	34 Wh/día
Sobredimensionamiento	1	3 W total	2 h/día	7 Wh/día
Energía total diaria				41 Wh/día



Sistema Aislado: Resultados principales

Proyecto : Proyecto Tesis

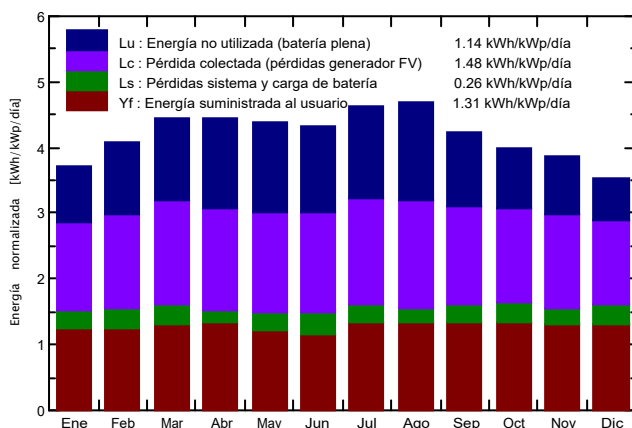
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema	Aislado	
Orientación Campos FV		inclinación	15°	acimut 0°
Módulos FV		Modelo	DSM 30	Pnom 30 Wp
Generador FV		N° de módulos	1	Pnom total 30 Wp
Batería		Modelo	Solar PV 8GU1H	Tecnología Pb-ácido, cerrada, Gel
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	Global	14.9 kWh/año

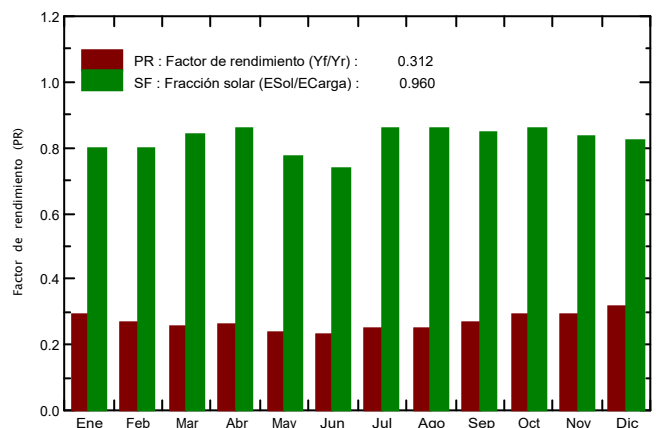
Resultados principales de la simulación

Producción del Sistema	Energía disponible	29.65 kWh/año	Produc. específico	988 kWh/kWp/año
	Energía utilizada	14.30 kWh/año	Exced. (inutilizado)	12.45 kWh/año
	Factor de rendimiento (PR)	31.15 %	Fracción solar SF	96.00 %
Pérdida de carga	Fracción de tiempo	5.5 %	Energía faltante	0.60 kWh/año

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 30 Wp



Factor de rendimiento (PR) y Fracción solar SF



Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Enero	128.3	109.9	2.208	0.782	0.092	1.173	1.265	0.928
Febrero	121.8	109.6	2.196	0.897	0.077	1.066	1.142	0.933
Marzo	141.0	132.7	2.672	1.160	0.025	1.239	1.265	0.980
Abril	129.9	128.3	2.587	1.211	0.000	1.224	1.224	1.000
Mayo	127.7	131.3	2.644	1.260	0.128	1.137	1.265	0.899
Junio	120.6	125.5	2.527	1.173	0.171	1.053	1.224	0.860
Julio	132.4	139.1	2.811	1.310	0.000	1.265	1.265	1.000
Agosto	138.3	140.7	2.847	1.389	0.000	1.265	1.265	1.000
Septiembre	128.1	122.7	2.468	1.019	0.018	1.206	1.224	0.985
Octubre	131.4	119.1	2.396	0.863	0.000	1.265	1.265	1.000
Noviembre	129.0	111.3	2.220	0.814	0.035	1.189	1.224	0.971
Diciembre	123.4	104.5	2.075	0.578	0.050	1.215	1.265	0.960
Año	1551.9	1474.7	29.650	12.454	0.596	14.296	14.892	0.960

Leyendas: GlobHor	Irradiación global horizontal	E Miss	Energía faltante
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E User	Energía suministrada al usuario
E Avail	Energía Solar Disponible	E Load	Necesidad de energía del usuario (Carga)
EUnused	Pérdida de energía no utilizada (batería plena)	SolFrac	Fracción solar (EUtilizada/ECarga)

Sistema Aislado: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Tesis
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Aislado		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	DSM 30	Pnom	30 Wp
Generador FV	N° de módulos	1	Pnom total	30 Wp
Batería	Modelo	Solar PV 8GU1H	Tecnología	Pb-ácido, cerrada, Gel
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	Global	14.9 kWh/año

Diagrama de pérdida durante todo el año

