

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

CONSTRUCCIÓN DE UN CARGADOR ELÉCTRICO A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS ESFOT-EPN

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

CAMILO SAUL QUINTO NEVÁREZ

camitsrealg4life@hotmail.com

DIRECTOR: ING. ESTEBAN JAVIER JATIVA POZO

esteban.jativa@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, agosto 2018

AVAL DEL DIRECTOR

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: Camilo Saúl Quinto Nevárez, bajo mi supervisión.

Ing. Esteban Játiva Pozo
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Carlos Romo Herrera
CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Camilo Saul Quinto Nevárez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Firma:

Camilo Saúl Quinto Nevárez
C.I: 1725181877
Teléfono: 0999055217
E-mail: camitsrealg4life@hotmail.com

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo el cual es representación del esfuerzo y entereza a los estudios, de una etapa en mi vida a: mis padres Sonia y Saúl, mis hermanos Valeria y Ariel, mi familia y amigos que me han brindado su amor, su apoyo y han estado conmigo en el transcurso de este proceso de aprendizaje.

Por ustedes y para ustedes siempre me esforzare por seguir superándome cada día y ser una persona mejor preparada y un mejor ser humano.

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos principalmente a mis padres y hermanos, quienes me han brindado todo su amor, comprensión y apoyo permitiendo que esto sea posible.

Agradezco a mis padrinos Marcelo y Patricia quienes me han brindado su cariño, apoyo y consejo, a mi tía Marisol quien siempre me ha tratado como si fuera uno más de sus hijos y al resto de mi gran familia que ha sido un complemento para este logro.

Agradezco a mi mejor amigo Darwin y a mis grandes amigos: Dennis, Michael y Tania que han estado conmigo en los buenos y en los malos momentos durante este periodo de formación profesional.

Finalmente, a los Ingenieros: Esteban Játiva, Carlos Romo y Alan Cuenca a quienes considero profesionales de calidad, agradezco por ese excelente conocimiento y guía que han impartido en mí y que me servirá para el resto de mi vida.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE ANEXOS	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
1.2 Alcance	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Energía solar.....	5
2.2 Conversión de energía solar a energía eléctrica	6
2.3 Sistema fotovoltaico aislado de la red	8
2.4 Panel solar	9
2.5 Batería para sistema solar.....	10
2.6 Regulador de carga solar	11
2.7 Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados de la red	14
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Tipo de investigación	19
3.2 Técnicas e instrumentos empleados en la ejecución del proyecto	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	24
4.1 Requerimientos para la construcción del cargador.....	24
4.2 Lista de elementos dimensionados y seleccionados	26
Proceso de instalación	26
Procedimiento de cálculo	27
4.3 Análisis de costos	32
4.4 Construcción del cargador en la ESFOT-EPN.....	35
Estructura soporte	35
Disposición de elementos de cargador eléctrico	37
Descripción elementos de cargador eléctrico.....	38
4.5 Resultado pruebas de funcionamiento.....	41
Pruebas en preinstalación de equipos.....	41
Pruebas en post-instalación de equipos.....	45
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1 Conclusiones.....	52

5.2	Recomendaciones	54
6.	BIBLIOGRAFÍA	55
7.	ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen características células fotovoltaicas [8].....	7
Tabla 2. Características eléctricas panel solar [8]	9
Tabla 3. Características eléctricas batería estacionaria [8].....	11
Tabla 4. Características eléctricas regulador de carga solar [8]	13
Tabla 5. Especificaciones de carga y energía diaria total	25
Tabla 6. Distribución de energía diaria: dispositivos vs tiempo de uso	25
Tabla 7. Consumo de energía promedio mensual y anual.....	26
Tabla 8. Resumen de costos: equipos de sistema fotovoltaico aislado de la red	33
Tabla 9. Resumen de costos: estructura soporte	33
Tabla 10. Resumen de costos: circuito acondicionamiento	34
Tabla 11. Resumen de costos: elementos complementarios.....	34
Tabla 12. Resumen de costos: diseño e ingeniería	35
Tabla 13. Resumen de costos totales.....	35
Tabla 14. Características estructura soporte	36
Tabla 15. Pruebas eléctricas panel solar	42
Tabla 16. Pruebas eléctricas batería solar	42
Tabla 17. Pruebas eléctricas regulador de carga solar	44
Tabla 18. Pruebas eléctricas circuito de acondicionamiento	45
Tabla 19. Pruebas sistema de generación	47
Tabla 20. Pruebas sistema de acumulación	48
Tabla 21. Prueba de carga y descarga de la batería	49
Tabla 22. Pruebas sistema de regulación.....	50
Tabla 23. Pruebas sistema de adaptación.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Radiación global [6].....	5
Figura 2. Efecto fotoeléctrico [9]	7
Figura 3. Sistema fotovoltaico autónomo [11]	8
Figura 4. Componentes de un panel solar fotovoltaico [14]	9
Figura 5. Componentes de una batería de ciclo profundo [16]	11
Figura 6. Componentes de un regulador de carga solar [17].....	12
Figura 7. Bornes de conexión y luces indicadoras de regulador de carga solar [18] ...	12
Figura 8. Carga campo de baterías (a), carga consumo en CC (b) [19].....	13
Figura 9. Diagrama de flujo actividades realizadas en el proyecto	19
Figura 10. Radiación global promedio Ecuador 2008 [22]	22
Figura 11. Pérdidas en panel solar	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cargador eléctrico armado en físico.....	57
Anexo 2. Infografía esquema eléctrico cargador eléctrico	59
Anexo 3. Infografía indicaciones de uso cargador eléctrico.....	59
Anexo 4. Dimensiones de equipos cargador eléctrico	60
Anexo 5. Plano de estructura soporte, banca y equipos	61
Anexo 6. Vistas y dimensiones de estructura soporte, banca y equipos	62
Anexo 7. Hoja técnica panel solar monocristalino SIMAX 100 W / 12 Vdc	63
Anexo 8. Hoja técnica regulador de carga ZCM2012 20 A / 12 Vdc.....	63
Anexo 9. Hoja técnica batería OT 24 Ah / 12 Vdc.....	64
Anexo 10. Esquema eléctrico cargador eléctrico a partir de energía solar	65
Anexo 11. Circuito de acondicionamiento de carga ideal sin conectores.....	66
Anexo 12. Circuito de acondicionamiento de carga real con conectores	66
Anexo 13. Circuito de acondicionamiento PCB.....	66
Anexo 14. Hoja técnica regulador de voltaje 78S05.....	67

RESUMEN

La energía solar, que es el principal insumo de este proyecto es una energía renovable, no convencional, ilimitada, pero sobre todo limpia y amigable con el medio ambiente. El dispositivo construido aprovecha este recurso natural para generar algo tan importante hoy en día como lo es la energía eléctrica.

El presente trabajo presenta de manera general: la importancia, el principio de funcionamiento, los componentes y las principales características de un sistema solar fotovoltaico aislado de la red, empleado en la construcción de un cargador eléctrico de dispositivos electrónicos en la ESFOT-EPN.

Aquí se describe el procedimiento para la estimación de carga de los dispositivos electrónicos y se indica el principio de funcionamiento de todos los componentes del cargador solar como son: el panel solar, la batería estacionaria, el regulador de carga y el circuito de acondicionamiento de la carga.

Además, se detalla el procedimiento para el dimensionamiento y selección de cada uno de los componentes, protecciones y otros elementos que forman parte del cargador eléctrico.

Se presenta el resumen de costos que implica la realización del proyecto y finalmente se muestran los resultados mediante pruebas tanto eléctricas como mecánicas, realizadas al dispositivo, las cuales garantizan el correcto funcionamiento del cargador eléctrico a partir de energía solar implementado.

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al dispositivo muestran que el diseño, dimensionamiento y construcción del cargador eléctrico a partir de energía solar, cumple con los estándares de calidad necesarios para su normal operación.

PALABRAS CLAVES:

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO, PANEL SOLAR, BATERIA SOLAR, REGULADOR DE CARGA, CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO, CARGADOR SOLAR, BANCA SOLAR.

ABSTRACT

The solar energy, which is the principal input of this project is a renewable energy, unconventional, unlimited, but principally clean and friendly with the environment. The device constructed takes advantage of this natural resource to generate something as important nowadays as the electricity power.

The present work presents in a general way: the importance, the working principle, the components and the main characteristics of a photovoltaic solar system isolated from the network, and how this system is used for the construction of an electric charger of electronic devices in the ESFOT-EPN.

The process for estimating the charge of the electric charger from solar energy is described and the principle of operation of all the components is also indicated, such as: the solar panel, the solar charge battery, the charge regulator and the load conditioning circuit.

The process for the sizing and selection of each of the components, protections and other elements that are part of the electric charger is explained in detail.

The summary of costs of the project is presented and finally the results of the electrical and mechanical tests of the device are shown, which guarantee the correct functioning of the electric charger from solar energy implemented.

The results obtained from the tests realized on the device show that the design, dimensioning and construction of the electric charger based on solar energy complies with the quality standards necessary for its normal operation.

KEYWORDS:

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY, ISOLATED PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM, SOLAR PANEL, SOLAR BATTERY, CHARGING REGULATOR, CIRCUIT OF CONDITIONING, SOLAR CHARGER, BANKING SOLAR.

1. INTRODUCCIÓN

“En la actualidad, debido a los cambios climáticos y desastres naturales producidos por el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, la conciencia medioambiental y el uso de energías renovables (EERR) están experimentando un crecimiento necesario e inminente. Entre dichas energías, una de las más importantes es la solar fotovoltaica”. [1]

“Alemania es el líder mundial en energía solar y su objetivo es ser 100% renovable para el año 2050; sólo en 2009, Alemania instaló 3.806 megavatios de capacidad de energía solar, que es más que la capacidad total de España y casi ocho veces más de lo que EE.UU. ha instalado recientemente. Japón ha invertido más de 9 mil millones de dólares en programas de energía solar, este año tienen un plan para instalar energía solar en más de 32 mil escuelas. La energía fotovoltaica en Estados Unidos se espera que aumente rápidamente durante los próximos años, debido a que tienen una gran cantidad de proyectos de energía solar”. [2]

“Ecuador se encuentra en una ubicación privilegiada en cuanto a radiación solar, debido a que la línea ecuatorial que divide al planeta en dos hemisferios lo atraviesa, siendo casi perpendicular la radiación que recibe. Además, esta no varía durante el año y se tiene un ángulo de incidencia constante, características que dan a la energía solar fotovoltaica un gran potencial de aprovechamiento”. [3]

“La energía solar camina a paso lento en Ecuador, según el informe de Balance Nacional de Energía elaborado por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad, a septiembre del 2016, la oferta de energía eléctrica, determinada por su potencia nominal generada por fuentes renovables, la constituyen: hidroelectricidad 49,82 %; biomasa 1,96 %; fotovoltaica 0,36 %; eólico y biogás el 0,29 % y el 47,57 % corresponde a fuentes que usan combustibles fósiles”. [4]

Entre los principales factores que inciden en ese lento progreso destacan:

- a) Los precios que tienen los equipos.
- b) La fuerte inversión inicial que se requiere para implementar esta energía.
- c) La falta de tecnologías para producir los equipos.
- d) La falta de políticas gubernamentales que impulsen al progreso de energías renovables.
- e) La eficiencia actual de los paneles fotovoltaicos.

- f) Las grandes extensiones de terreno que se necesitan para implementar plantas fotovoltaicas generadoras de electricidad.
- g) El desconocimiento de las prestaciones y ventajas: económicas, ambientales y sociales que conllevan la generación de energía fotovoltaica.

El desarrollo del proyecto “Construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar para dispositivos electrónicos ESFOT-EPN”, es un aporte para que la comunidad politécnica conozca las características, los equipos y el funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico aislado de la red y por ende sus ventajas económicas, ambientales, sociales y energéticas.

El proyecto contribuye a que la energía solar fotovoltaica sea difundida, acercando al campus politécnico a convertirse en un campus sustentable donde se imparte conocimiento y se hace uso de energías limpias, en este caso la energía solar fotovoltaica.

Mediante la difusión de esta información se reduce uno de los factores que inciden en el lento progreso de la energía solar fotovoltaica en el país como lo es el desconocimiento de las prestaciones y ventajas de esta clase de energía renovable.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Ecuador indica en su objetivo número siete “Energía asequible y sostenible”, que: “Para 2030 busca garantizar el acceso universal a servicios de energía asequibles, confiables y modernos, aumentar sustancialmente el porcentaje de la energía renovable en el conjunto de fuentes de energía y duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética”. [5]

El presente proyecto se planteó porque la energía solar fotovoltaica en el país no está desarrollada adecuadamente, evidencia de ello es que la difusión de proyectos enfocados a la producción de energía fotovoltaica es de “0,36 % del total de energía eléctrica producida en el país”

El presente proyecto es un aporte para que se cumpla el objetivo número siete “Energía asequible y sostenible” de la ONU y se promueva el desarrollo de energías limpias y renovables en el país.

El proyecto “Construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar para dispositivos electrónicos ESFOT-EPN” beneficia de manera general a toda la comunidad que conforma la EPN: estudiantes, personal administrativo, personal docente y trabajadores ya que pueden utilizar una energía totalmente limpia y amigable con el ambiente, además pueden conocer el funcionamiento del dispositivo por medio

de infografías, y visualizando los componentes y conexiones del cargador. Finalmente pueden conocer las ventajas que implica el usar energía solar en la generación de electricidad y específicamente lo favorable que resulta promover y desarrollar este tipo de tecnologías.

Los estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional que tienen formación técnica pueden informarse y conocer más acerca de los beneficios de la energía fotovoltaica; así a futuro tendrán la capacidad de aplicar profesionalmente estos conocimientos en el desarrollo de proyectos enfocados a la producción de energías limpias y sustentables.

La Escuela Politécnica Nacional que es una universidad fuertemente posicionada y de alto prestigio nacional se beneficia, ya que a futuro con réplicas del presente proyecto y con proyectos de la misma índole se podrá convertir en una universidad autosustentable energéticamente, amigable con el ambiente y en definitiva un ejemplo nacional a seguir en el desarrollo de energías limpias.

1.1 Objetivos

Objetivo general

Construir un cargador eléctrico a partir de energía solar para dispositivos electrónicos ESFOT-EPN.

Objetivos específicos

- a) Determinar los requerimientos necesarios para la construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar.
- b) Dimensionar cada uno de los elementos necesarios para la construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar.
- c) Determinar el costo que implica la construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar.
- d) Construir un cargador eléctrico a partir de energía solar en la ESFOT-EPN.
- e) Verificar el correcto funcionamiento del cargador eléctrico construido.

1.2 Alcance

El “Cargador eléctrico a partir de energía solar para dispositivos electrónicos ESFOT-EPN”, está a disposición de quienes conforman la comunidad politécnica: personal docente, administrativo, estudiantes y trabajadores, que requieran de energía eléctrica para la carga de sus dispositivos electrónicos como: celulares, tabletas, iPads, Mp3. Los dispositivos en mención deben cumplir con las siguientes características: potencia de 10 vatios, voltaje de 5 voltios y corriente máxima de 2 amperios.

Los requerimientos del dispositivo están planteados para abastecer las necesidades de consumo energético para un determinado número de personas. Se espera que en el futuro el proyecto se expanda abarcando una mayor demanda energética que la establecida en la actualidad.

La energía solar que es el principal insumo del proyecto es: renovable, ilimitada y limpia, con lo cual el dispositivo se convierte en autosustentable y amigable con el ecosistema.

Para garantizar el correcto funcionamiento del cargador eléctrico se requiere únicamente de mantenimiento de rutina con actividades básicas como limpieza, inspección visual de los elementos, etc.

Los componentes del dispositivo están sobredimensionados de tal forma que en el futuro exista una expansión, ampliación y mejora de todas las prestaciones que brinda el proyecto en la actualidad.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Energía solar

La energía solar se produce por reacciones nucleares que se generan en el interior del sol; la energía liberada por estas reacciones se propaga hasta la superficie solar también denominada fotosfera.

La radiación solar que se genera desde la fotosfera disminuye la intensidad conforme llega hasta la superficie terrestre, debido a fenómenos físicos como: difusión, reflexión y absorción.

Por otro lado, la radiación solar llega a la superficie terrestre de diferentes formas, las cuales se definen a continuación:

- a) *Radiación directa*: es la radiación proyectada directamente desde el sol hasta la superficie terrestre.
- b) *Radiación difusa*: es la radiación absorbida y difundida a través de la atmósfera hasta la superficie terrestre.
- c) *Radiación reflejada o albedo*: es la radiación reflejada por la radiación directa y la radiación difusa.

Radiación global o irradiancia: es la adición de la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada. La radiación global es la más importante de todas ya que es la utilizada para procesos de conversión energéticos.

En la Figura 1 que se muestra a continuación se observa de manera ilustrativa lo descrito anteriormente.



Figura 1. Radiación global [6]

La irradiancia también se define como la cantidad de energía solar captada por unidad de tiempo y por unidad de superficie. La irradiancia se considera una unidad de referencia con un valor de 1000 W/m^2 en condiciones estándar de medida.

La irradiación se define como la cantidad de energía solar captada en un tiempo definido, por unidad de superficie y se puede expresar como: Kwh/m^2 , Wh/m^2 o MJ/m^2 .

Los cálculos, dimensionamientos y estudios de sistemas fotovoltaicos se realizan en función del dato de irradiación del lugar de la instalación, por otro lado, el dato de irradiancia tiene como objetivo estudios de carácter científico. [7] [8]

2.2 Conversión de energía solar a energía eléctrica

El proceso que rige la conversión de energía solar a energía eléctrica se denomina efecto fotoeléctrico y consiste en transformar por medio de materiales semiconductores, la energía proveniente del sol en energía eléctrica.

Para que exista la generación de energía eléctrica se debe dopar con una cierta cantidad de energía al material semiconductor para que de esta manera los electrones de este tipo de materiales puedan escapar del átomo dejando así “electrones libres” o “huecos”, el aporte de energía para que se lleve a cabo ese proceso lo dan los fotones solares.

El material semiconductor que por sus características físicas y atómicas es más utilizado en procesos fotovoltaicos es el silicio (Si). Sin embargo, para obtener electrones libres o huecos el silicio puro debe doparse con otros átomos.

Para generar *electrones libres* el silicio puro se dopa con átomos de fósforo (P), de esta manera con el aporte de energía térmica externa (radiación solar) se obtiene un cristal con exceso de electrones, denominado “tipo – n” y cargado negativamente.

Para generar *huecos* el silicio puro se dopa con átomos de boro (B), de esta manera con el aporte de energía térmica externa (radiación solar) se obtiene un cristal con deficiencia de electrones, denominado “tipo – p” y cargado positivamente.

La Figura 2 muestra los enlaces químicos entre el silicio con fósforo y boro que producen electrones libres y huecos respectivamente.

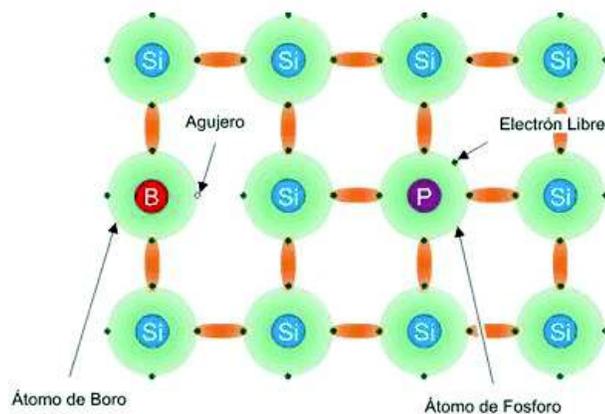


Figura 2. Efecto fotoeléctrico [9]

La unión de los cristales tipo – p y tipo – n también llamado enlace “p – n” o diodo generan un campo eléctrico, la irradiación solar actúa sobre esta unión de manera constante rompiendo el valor umbral del diodo y provocando una pequeña diferencia de potencial en la célula.

Las denominadas células fotovoltaicas están formadas por enlaces “p – n” como los descritos anteriormente, la tensión que genera cada una de estas células es baja, y depende del tipo de materiales que se utilicen para su construcción. [7] [8]

A continuación, en la Tabla 1 se presenta una breve descripción de las principales características de cada célula en función del material con el que están fabricadas.

Tabla 1. Resumen características células fotovoltaicas [8]

Características células fotovoltaicas			
Tipo célula	Rendimiento	Color	Forma
Monocristalino	15 – 18 %	Azul uniforme	Octogonal o circular
Policristalino	12 – 15 %	Azul variado	Cuadradas o rectangulares
Amorfo	7 – 10 %	Marrón - rojizo	Sin forma
Capa fina GaAs ¹	32,5 % (laboratorio)	Indefinido	Sin forma
Capa fina CdTe ²	10 %	Indefinido	Sin forma
Capa fina CIS ³	12 %	Indefinido	Sin forma

¹ El GaAs es un compuesto químico que forma Arseniuro de galio.

² El CdTe es un compuesto químico que forma Teluro de cadmio.

³ El CIS es una clase de película de cobre.

2.3 Sistema fotovoltaico aislado de la red

Considerando el concepto de *sistema*: “conjunto de elementos relacionados entre sí, que tienen como función cumplir con un objetivo específico”. [10] Se define a un sistema fotovoltaico aislado de la red como un conjunto de equipos que interactúan entre sí con el fin de generar energía eléctrica a partir de energía solar.

Un sistema fotovoltaico aislado de la red, también conocido como sistema fotovoltaico autónomo, adopta este nombre porque no suministra ni consume energía de la red de distribución eléctrica convencional.

La principal característica de un sistema fotovoltaico autónomo es que utiliza un sistema de acumulación mediante baterías estacionarias para almacenar la energía eléctrica producida por los paneles solares.

En la Figura 3 que se muestra a continuación se presenta de manera gráfica los elementos que forman un sistema fotovoltaico autónomo, y como es la conexión de cada elemento entre sí.



Figura 3. Sistema fotovoltaico autónomo [11]

Los elementos básicos que conforman un sistema fotovoltaico aislado de la red son:

- a) Panel solar: sistema o módulo de generación.
- b) Batería solar: sistema o módulo de acumulación.
- c) Regulador: sistema o módulo de regulación.
- d) Inversor: sistema o módulo de adaptación.

Otros elementos que conforman un sistema fotovoltaico autónomo que son considerados como complementarios son:

- a) Protecciones eléctricas: sistema o módulo de protección.
- b) Cables: sistema o módulo de transporte.
- c) Otros: iluminación, temporizadores, elementos de maniobra. [12] [13]

2.4 Panel solar

El panel solar es el elemento principal de un sistema fotovoltaico ya que es el encargado de transformar la energía proveniente del sol a energía eléctrica (corriente continua). Esta función la realiza por medio de células fotovoltaicas.

El panel solar está compuesto por varias células fotovoltaicas interconectadas en serie y paralelo, esto debido a que cada célula de manera individual entrega tensiones y corrientes muy bajas (0,5 V y 2 A). [8] [12]

Los elementos que componen un panel solar se presentan a continuación en la Figura 4.



Figura 4. Componentes de un panel solar fotovoltaico [14]

Las características eléctricas que se deben conocer para seleccionar y utilizar de manera correcta un panel fotovoltaico se describen a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Características eléctricas panel solar [8]

Características eléctricas panel fotovoltaico			
Nombre	Abreviatura	Unidad de medida	Descripción
Potencia máxima o potencia pico	P _{máx} o P _p	Vatios (W)	Potencia máxima que suministra el panel solar
Voltaje en vacío o circuito abierto	V _{oc}	Voltios (V)	Voltaje máximo del panel solar en vacío
Corriente en cortocircuito	I _{cc} o I _{sc}	Amperios (A)	Corriente máxima del panel solar en vacío
Voltaje máximo o voltaje pico	V _{máx} o V _p	Voltios (V)	Voltaje máximo del panel solar con carga
Corriente máxima o corriente pico	I _{máx} o I _p	Amperios (A)	Corriente máxima del panel solar con carga

2.5 Batería para sistema solar

La batería para sistema solar o estacionaria es un elemento imprescindible y que no se puede omitir en un *sistema fotovoltaico aislado de la red* ya que abastece de energía eléctrica a la carga de la instalación cuando el campo generador (paneles fotovoltaicos) no produce energía eléctrica o la energía que produce es demasiado baja.

La batería estacionaria al igual que las baterías convencionales convierte la energía química en electricidad mediante procesos electroquímicos. Los elementos de los cuales están hechas por lo general son: níquel – cadmio o plomo – ácido.

La batería para sistema solar y la batería automotriz utilizan el mismo principio de funcionamiento para la generación de energía eléctrica, sin embargo, cada una presenta características y aplicaciones diferentes.

Las baterías para uso automotriz están fabricadas para suministrar corrientes altas en cortos intervalos de tiempo, esto con la finalidad de permitir el arranque en el vehículo; por otra parte, las baterías estacionarias están fabricadas para suministrar corrientes pequeñas por largos intervalos de tiempo, por esta razón a estas baterías se las denomina de ciclo profundo [15].

Según lo descrito anteriormente se debe tener en cuenta que para garantizar el correcto funcionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo no se puede utilizar una batería automotriz ya que tiene diferentes características con respecto a la batería de ciclo profundo o estacionaria.

La función que cumple la batería estacionaria en el sistema fotovoltaico autónomo es aportar con energía eléctrica a la carga cuando el sistema de generación no funciona, por ejemplo, en días nublados o durante la noche.

Cuando el sistema de generación cuenta con energía suficiente, carga al sistema de acumulación formado por baterías para luego utilizar esa energía en las condiciones ya mencionadas anteriormente o en algunos casos en operación normal. [7] [13]

Los elementos que componen una batería de ciclo profundo se presentan a continuación en la Figura 5.

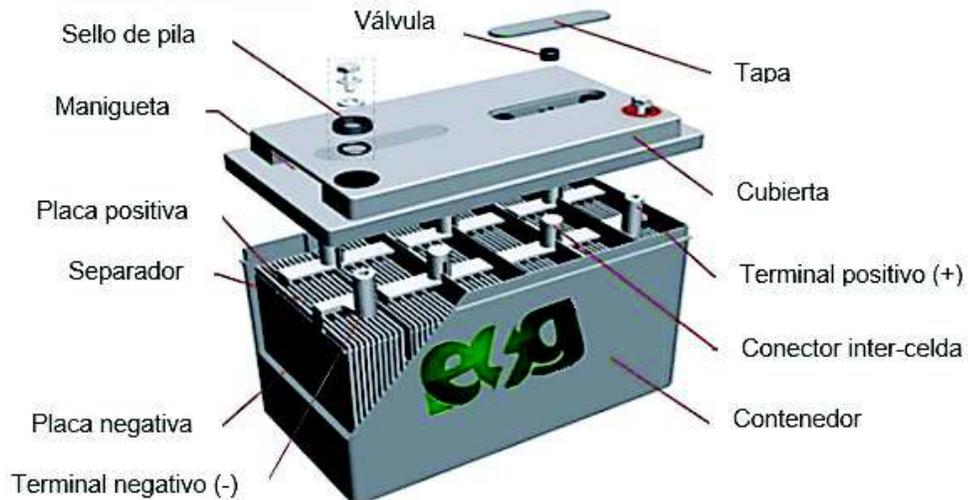


Figura 5. Componentes de una batería de ciclo profundo [16]

Las características eléctricas que se deben conocer para seleccionar y utilizar de manera correcta una batería estacionaria se describen a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Características eléctricas batería estacionaria [8]

Características eléctricas batería estacionaria			
Nombre	Abreviatura	Unidad de medida	Descripción
Capacidad nominal	Cn	Amperios hora (Ah)	Capacidad de amperios que suministra batería por hora
Voltaje nominal	Vn	Voltios (V)	Voltaje que suministra la batería
Profundidad de descarga	Pd	Porcentaje (%)	Porcentaje de descarga de batería en operación normal
Voltaje mínimo y máximo	V _{mín} y V _{máx}	Voltios (V)	Voltaje mínimo y máximo al que puede funcionar batería
Corriente máxima	Imáx	Amperios (A)	Corriente máxima de la batería con carga

2.6 Regulador de carga solar

El regulador de carga solar es un elemento imprescindible en un sistema fotovoltaico, ya que es el encargado de controlar y regular la energía proveniente del sistema de generación hasta el sistema de acumulación y la carga.

Se puede considerar al regulador de carga como el cerebro del sistema fotovoltaico puesto que la ausencia de este elemento en el sistema provocaría que todos los demás componentes funcionen sin ningún control.

Las funciones principales del regulador de carga son las siguientes:

- a) Protección a la batería de sobrevoltaje: cuando el sistema de acumulación está en su máxima capacidad y el sistema de generación posee energía, desconecta estos sistemas entre sí.
- b) Protección a la batería de bajo voltaje: cuando el sistema de acumulación está en su mínima capacidad y la carga se encuentra conectada, desconecta estos sistemas entre sí. [7] [8]

Los elementos que componen un regulador de carga solar con tecnología PWM se presentan a continuación en la Figura 6.

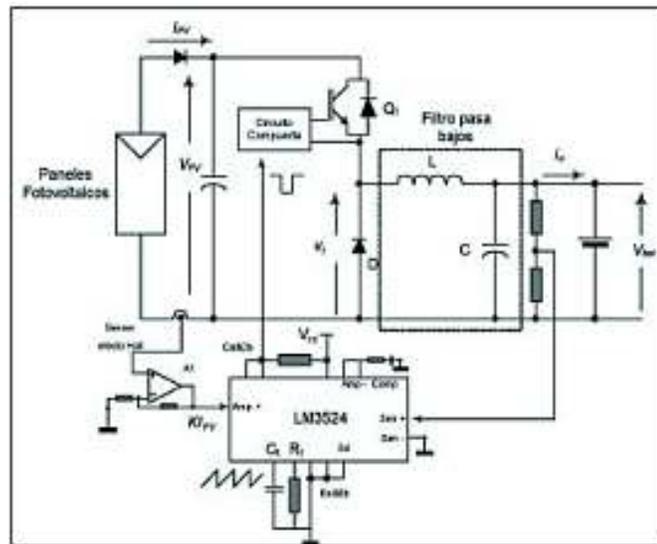


Figura 6. Componentes de un regulador de carga solar [17]

Un regulador de carga solar cuenta con tres borneras para la conexión de: sistema de generación (paneles solares), sistema de acumulación (baterías estacionarias) y carga del sistema fotovoltaico. Además, cuenta con luces indicadoras de cada sistema como se observa en la Figura 7.



Figura 7. Bornes de conexión y luces indicadoras de regulador de carga solar [18]

El modo de funcionamiento del regulador de carga solar ZCM2012 se describe a continuación.

- a) El sistema de generación (Campo FV) carga de energía al sistema de almacenamiento (Campo de baterías) constantemente durante el día. Figura 8 (a).
- b) El sistema de almacenamiento (Campo de baterías) proporciona energía para la carga (Consumo en CC) durante el día, mientras recibe la energía del sistema de generación (Campo FV) o durante la noche con la energía almacenada en el día. Figura 8 (b).

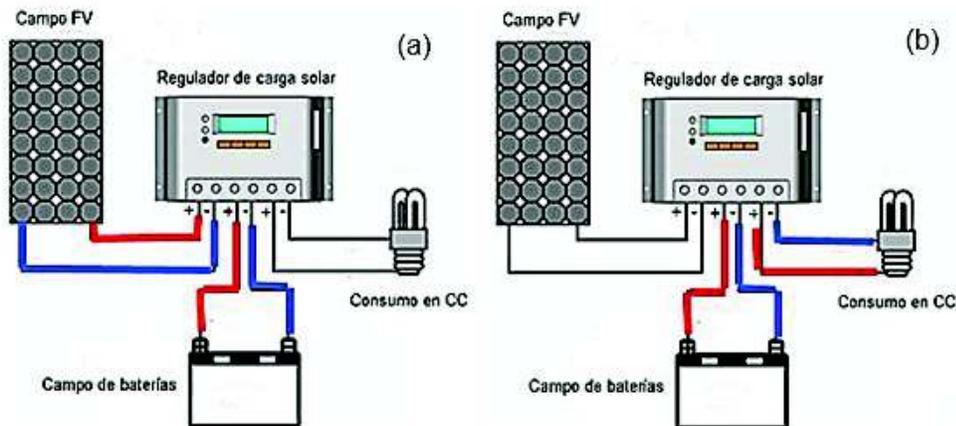


Figura 8. Carga campo de baterías (a), carga consumo en CC (b) [19]

Las características eléctricas que se deben conocer para seleccionar y utilizar de manera correcta un regulador de carga solar se describen a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Características eléctricas regulador de carga solar [8]

Características eléctricas regulador de carga solar			
Nombre	Abreviatura	Unidad de medida	Descripción
Voltaje nominal	Vn	Voltios (V)	Voltaje al que funciona el regulador
Corriente de entrada	I _{in}	Corriente (A)	Corriente procedente del sistema de generación y que debe manejar el regulador
Corriente de salida	I _{out}	Corriente (A)	Corriente requerida por la carga y que suministra el regulador
Nivel de reconexión	-	Voltaje (V)	Rango en el cual se desconectan y conectan los elementos del sistema fotovoltaico
Autoconsumo	-	Corriente (mA)	Corriente que consume regulador de forma continua

2.7 Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados de la red

Luego de haber analizado detalladamente el proceso de cálculo establecido en libros y catálogos de diferentes autores como: “Tecnología Solar” escrito por M. Ibañez Plana, J. R. Rosell Polo y J. I. Rosell Urrutia o “Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma” publicado por SunFields Europe, “Energía Solar Fotovoltaica y Energía Eólica” escrito por Javier Martín Jiménez, se definió a este último como el procedimiento de cálculo adecuado para el presente proyecto, debido a que es el más concreto y preciso.

Requisitos para la instalación:

El primer requisito es realizar un estudio de campo del lugar donde se instalará el sistema.

Este estudio de campo debe determinar los siguientes aspectos:

- a) Espacio físico donde se va a instalar el panel: estructura metálica, techo, pared, suelo, etc.
- b) Sombras que puedan interferir en la superficie del panel.
- c) Distancia entre sí, de cada elemento del sistema fotovoltaico.
- d) Distancia existente entre el punto de consumo y el sistema de generación.
- e) Espacio físico para los elementos que conforman el sistema fotovoltaico

A continuación, se establecen algunos de los principales parámetros de funcionamiento del sistema fotovoltaico, estos son:

- a) Respecto al lugar de instalación del sistema: latitud del país ($^{\circ}$) e irradiación promedio en dicho lugar, en el mes que presente las peores condiciones de todo el año, es decir el índice más bajo ($Kw. h/m^2. día$). También se conoce a este factor como horas solar pico (HSP).
- b) Autonomía del sistema fotovoltaico (A): representa el tiempo de funcionamiento que la instalación funciona sin el aporte de la energía solar provista por los paneles (días).
- c) Tensión nominal del sistema fotovoltaico: representa el voltaje nominal al cual funciona la carga de la instalación (V).
- d) Estimación de carga del sistema (Ed): representa la carga total que se estima conectar a la instalación en un día de funcionamiento promedio.

Para la estimación de la carga se recomienda elaborar una tabla resumen donde conste como mínimo el tipo de carga, la potencia de la carga (W), el tiempo de

funcionamiento de la carga (h) y finalmente el consumo de energía promedio diario de la carga (watts día).

Procedimiento de cálculo:

Determinados todos los datos descritos anteriormente, el procedimiento de cálculo consiste en realizar una serie de operaciones matemáticas en base a fórmulas previamente estudiadas y analizadas, las cuales entregan como resultado el valor no normalizado de los elementos que conforman el sistema fotovoltaico aislado de la red.

La secuencia de operaciones que se deben seguir se muestra a continuación:

1. Cálculo de la energía diaria corregida

$$Ed1 = \frac{Ed}{n\text{ reg}} \quad [1]$$

Ed1= energía diaria corregida con rendimiento regulador de carga (watts/día)

Nreg= eficiencia energética del regulador de carga

2. Cálculo del sistema de acumulación

$$C = \frac{1.1 \times Ed1 \times A}{Pd \times Vn} \quad [2]$$

C= capacidad de acumulación (amperios hora)

1.1= factor de seguridad

Pd= profundidad de descarga batería (%)

Vn= voltaje nominal de la carga (no obstante, de la instalación) (voltios)

3. Estandarización de batería solar

Con el resultado obtenido en el punto 2 se estandariza la capacidad de la batería, la cual debe tener un valor comercial siempre inmediatamente superior al calculado. Este valor es la capacidad nominal de la batería (Cn).

4. Cálculo de la autodescarga de la batería

$$Ades = Cn \times 0.0001 \times Vn \quad [3]$$

Cn= capacidad nominal de la batería (amperios hora)

Ades= autodescarga de la batería

0.0001= factor de autodescarga

5. Cálculo de la capacidad útil de la batería

$$Cu = Cn \times Pd \text{ (amperios hora)} \quad [4]$$

6. Cálculo de la energía diaria corregida total

$$Et = Ed1 + Ades \text{ (watts/día)} \quad [5]$$

7. Cálculo de la potencia que deben cubrir los paneles solares

$$Ppg = \frac{Et}{HSP \times 0.9} \quad [6]$$

Ppg= potencia pico generada por paneles solares (watts)

HSP= horas solar pico o irradiación peor mes del año.

0.9= factor de seguridad por eficiencia de paneles, considerando pérdidas por sombras, polvo, etc.

8. Estandarización de paneles solares

Con el resultado obtenido en el punto 6 se estandariza, la potencia del panel la cual debe tener un valor comercial siempre inmediatamente superior al calculado. Potencia pico del panel (PPP).

9. Cálculo de número de paneles en serie y en paralelo del sistema

Serie

$$N^{\circ} p/r = \frac{Vn}{Vnp} \quad [7]$$

N° p/r= número de paneles por rama

Vnp= voltaje nominal del panel

Paralelo

$$N^{\circ} r = \frac{Ppg}{Ppp \times N^{\circ} p/r} \quad [8]$$

N°r= número de ramas

Ppp= potencia pico del panel estandarizado

10. Selección del regulador de carga

La selección del regulador de carga se realiza en base a dos parámetros eléctricos que son:

Tensión de la instalación: los valores estandarizados de reguladores de carga son de 12 voltios y 24 voltios.

Corriente del regulador de carga: tanto la corriente de entrada como la corriente de salida del regulador deben ser al menos 1,25 veces mayor a la corriente de cortocircuito del campo generador con paneles solares y la corriente que se debe suministrar a la carga respectivamente. [7] [8]

11. Cálculo de calibre de los conductores

El calibre de los conductores se determina en función de la distancia existente entre los elementos de la instalación. Para cada tramo se determina una caída de tensión máxima permisible, la cual se establece como porcentaje de la tensión nominal de la instalación. [8]

- a) Generador – regulador (3%)
- b) Regulador – batería (2%)
- c) Regulador – carga (3%)

Una vez determinada la caída de tensión permisible en el conductor entre cada elemento de la instalación, se calcula la sección del cable con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \times C \times P_o \times P \times L}{\Delta V \times V} \quad [9]$$

S= sección del conductor (mm²)

2= factor de seguridad

C= incremento de resistencia en alterna

P_o= resistividad del cobre (Ω x mm² / m)

P= potencia

L= longitud entre cada elemento (m)

ΔV= caída de tensión permisible

V= voltaje de salida

Con el valor obtenido de los cálculos anteriores se selecciona el calibre del conductor AWG en base a tablas estandarizadas.

12. Angulo de inclinación óptima de los paneles solares

Este procedimiento no permite dimensionar o seleccionar un equipo de la instalación fotovoltaica, sin embargo, no deja de ser importante ya que permite determinar el ángulo de inclinación óptimo al cual deben estar sujetos los paneles solares.

Para determinar este ángulo se aplica la siguiente fórmula donde el dato más relevante a conocer es la latitud del lugar donde se requiere implementar la instalación fotovoltaica.

$$\mathbf{B_{opt} = 35^{\circ} - (41^{\circ} - \mathit{latitud})} \quad [10]$$

B_{opt}= ángulo óptimo de inclinación de paneles solares (°)

35°= dato de referencia para cálculo inclinación

41°= dato de referencia para cálculo inclinación

Latitud= latitud del lugar de la instalación fotovoltaica (°) [8]

3. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

El presente proyecto es una investigación de tipo exploratoria, que evalúa e interpreta las características de un sistema fotovoltaico aislado de la red, recopilando y analizando datos e información de libros, artículos científicos, portales web, de manera que el resultado es el diseño y construcción de un Cargador eléctrico a partir de energía solar para dispositivos electrónicos ESFOT-EPN. El proceso de investigación se basa en el diagrama de flujo de la Figura 9.

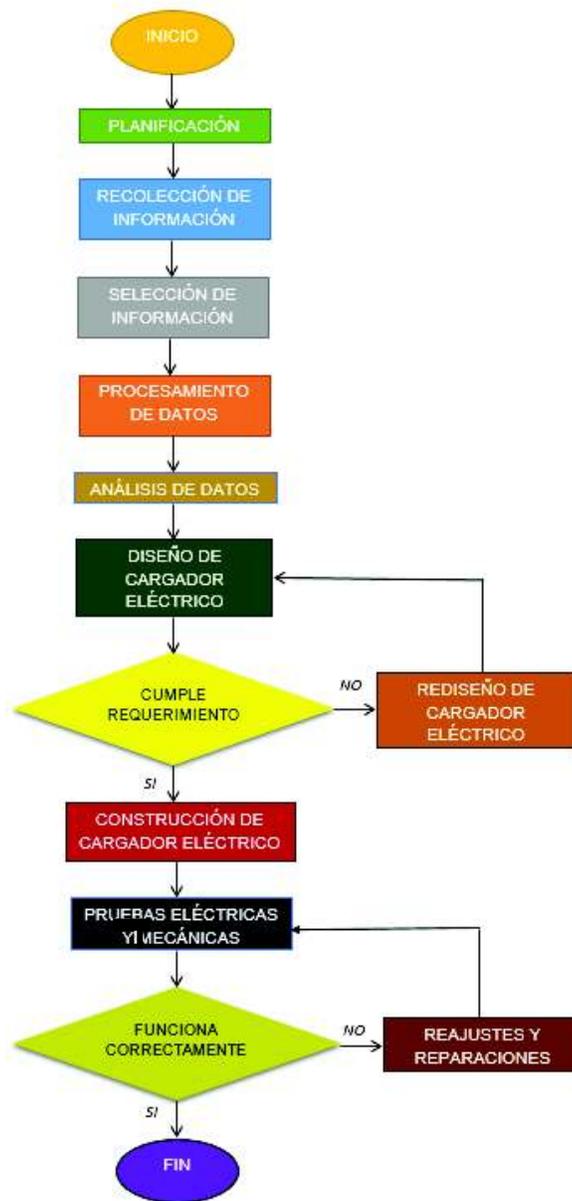


Figura 9. Diagrama de flujo actividades realizadas en el proyecto

La información para el proyecto no solo se la adquiere de bibliografía y webgrafía también se la obtiene a través de entrevistas personales mixtas y tutorías orientativas presenciales con profesionales y personas que conocen y dominan el tema de las energías renovables. Entre estos profesionales constan los ingenieros: Esteban Játiva “Máster Europeo en Energías Renovables”, Carlos Romo “Magister en Energías Renovables” y Alan Cuenca “Máster Universitario en Energías Renovables en Sistemas Eléctricos”.

“Las entrevistas personales mixtas o semiestructuradas son una mezcla de las entrevistas estructuradas y las no estructuradas. Por tanto, el entrevistador alterna preguntas estructuradas y preguntas espontáneas. Este tipo de entrevista es más completa que la estructurada y la no estructurada ya que, al poseer los beneficios de ambas, permite comparar entre la diferente información y también permite profundizar en las características específicas de estas”. [20]

“Las tutorías orientativas presenciales se desarrollan dentro de la institución o en sus sedes locales, cuando el tutor o alumno disponen de un tiempo para ello y el alumno puede acudir para solicitar una orientación directa sobre problemas académicos concretos, técnicas de trabajo o adaptación al sistema”. [21]

3.2 Técnicas e instrumentos empleados en la ejecución del proyecto

Para la primera fase del proyecto que implica determinar *los requerimientos del cargador eléctrico a partir de energía solar* se realiza un estudio técnico estadístico en base a información recopilada en la ESFOT-EPN acerca del uso de energía eléctrica para la carga de dispositivos electrónicos.

La herramienta que se utiliza para esta fase es la estadística descriptiva, mediante la elaboración de tablas de frecuencia y el cálculo de medidas de tendencia central como son la mediana, la media y la moda.

Con la información recopilada se determina el consumo promedio de energía y el tiempo promedio de uso de esta; los resultados determinan que el tiempo promedio diario que los usuarios tendrían para cargar sus dispositivos electrónicos es de una hora y que los dispositivos tienen como características eléctricas que funcionan a 5 voltios y 2 amperios es decir con una potencia promedio de 10 vatios pico (Wp).

La segunda fase del proyecto que tiene como objetivo *dimensionar cada uno de los elementos necesarios para la construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar* se realiza en dos partes.

La primera parte incluye un estudio y análisis detallado de libros, artículos científicos, páginas web, acerca del funcionamiento y los componentes de un sistema fotovoltaico autónomo. Los resultados de este estudio determinan que los elementos mínimos que debe tener el cargador eléctrico son: panel solar, regulador de carga y batería solar.

La segunda parte del dimensionamiento de los equipos se realiza mediante métodos de cálculo establecidos en libros y catálogos de energía solar, se escoge el procedimiento de cálculo que abarque la mayor información en comparación a los demás métodos y se procede a aplicarlo acorde a los requerimientos antes determinados. El método de cálculo seleccionado es el propuesto por Javier Martín Jiménez en su libro: "Energía Solar Fotovoltaica y Energía Eólica".

Para comprobar que los resultados obtenidos de los cálculos realizados son los correctos se emplea un software de soporte. Tanto en los cálculos como en el software los resultados deben ser similares o iguales.

El software soporte utilizado para comprobar que el procedimiento de cálculo realizado entrega resultados correctos es: CENSOL 5.0 elaborado por el Centro de Estudios de la Energía Solar (Solar Energy Training Centre) Censolar.

Uno de los datos más relevantes que se debe investigar para el desarrollo de esta actividad es la radiación solar promedio que incide sobre Ecuador. Esta información se puede obtener del mapa solar proporcionado por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). En la Figura 10 se observa el atlas solar de Ecuador de su radiación global promedio estimada en el 2008.

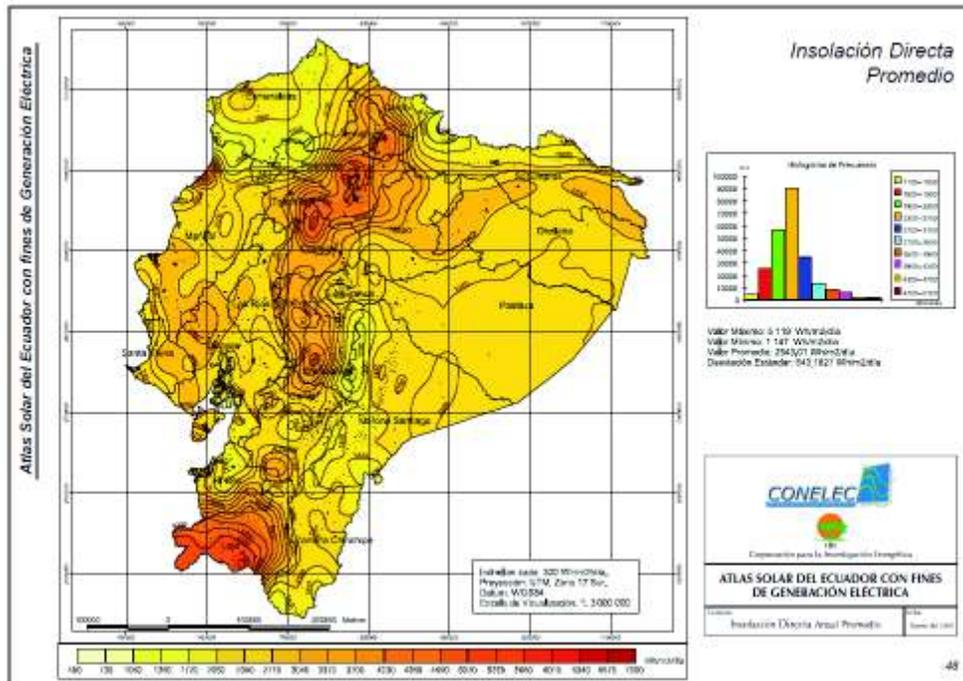


Figura 10. Radiación global promedio Ecuador 2008 [22]

En la tercera fase del proyecto se determina el *costo económico que implica la construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar* para lo cual se realizan varias cotizaciones en empresas que oferten los productos necesarios y determinados en la fase anterior.

Al igual que en la primera fase se realiza un estudio técnico estadístico de los costos utilizando nuevamente estadística descriptiva, elaborando tablas de frecuencia y calculando medidas de tendencia central.

Con los resultados obtenidos de este estudio se determina la forma y el lugar donde resulta más conveniente adquirir cada componente del cargador eléctrico a partir de energía solar.

La cuarta fase del proyecto que es la *construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar en la ESFOT-EPN*, es netamente práctica y experimental, en base a todos los procedimientos realizados anteriormente se procede a establecer el lugar o espacio físico donde estará el cargador y luego se adquieren y montan los elementos que forman el dispositivo en la estructura soporte previamente diseñada y construida.

En esta fase es fundamental aplicar correctamente todos los conocimientos técnicos prácticos adquiridos en la carrera, como conectar correctamente cada elemento con el conductor adecuado, seguir las normas de seguridad establecidas para cada actividad y en definitiva asegurar que el trabajo práctico funcionará de manera óptima y eficiente.

Finalmente, la quinta y última fase permite *verificar el correcto funcionamiento del cargador eléctrico construido*, en esta fase a diferencia de las anteriores se combina procedimientos prácticos experimentales y teóricos ya que, si bien es cierto las pruebas de funcionamiento, que en su mayoría son eléctricas, se las realiza mediante mediciones prácticas los resultados obtenidos y el tratamiento de la información es teórica.

Se deben comparar los resultados obtenidos de las mediciones con los resultados esperados o calculados o dicho de otra forma se realiza una comparación del valor ideal de cada medición con el valor real, determinando el margen de variación o error que presenta cada prueba el cual debe ser el mínimo para garantizar que el funcionamiento del cargador eléctrico a partir de energía solar construido es el adecuado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Requerimientos para la construcción del cargador

Los requerimientos por determinar para la construcción del dispositivo son principalmente eléctricos, uno de estos parámetros y el más importante es la potencia activa total que debe suministrar el sistema solar fotovoltaico en conjunto con todos sus componentes para abastecer la demanda diaria de energía eléctrica. Otros parámetros que se deben determinar son: la magnitud del voltaje, la magnitud de la corriente, tipo de corriente, tipo de carga, carga máxima.

El cargador eléctrico a partir de energía solar funciona según las especificaciones eléctricas que se muestran a continuación:

Voltaje o tensión de salida = 5 V

Corriente de salida = 500 mA – 2 A

Tipo de corriente de salida= CC

Considerando los parámetros descritos anteriormente las cargas a conectar en el dispositivo deben funcionar según las mismas características para su correcto funcionamiento.

Una vez determinadas las especificaciones de salida del dispositivo y por ende de la carga, se ha establecido como tiempo de uso promedio del cargador eléctrico 60 minutos (1 hora), esto considerando que el tiempo estimado de carga de un dispositivo electrónico con una corriente de 1.5 amperios es de aproximadamente 120 minutos (dos horas). [23]

Con la finalidad de abastecer en mayor proporción la demanda energética se establecieron cinco salidas o tomas de energía con las especificaciones descritas anteriormente.

Finalmente se establecen cinco ciclos de funcionamiento diarios del dispositivo en su máxima capacidad, es decir con las 5 tomas de energía conectadas con carga.

“La ley de Watt dice que la potencia eléctrica es directamente proporcional al voltaje de un circuito y a la intensidad que circula por él”. [24] Por lo tanto con un voltaje de 5 voltios y una corriente de 2 amperios la potencia activa del circuito tiene un valor de 10 vatios.

El dispositivo cuenta con cinco salidas, cada salida entrega 10 vatios; por lo tanto, la potencia máxima que entrega el dispositivo con carga máxima es 5 veces la potencia que entrega una toma (50 vatios).

A continuación, en la Tabla 5 se muestra un resumen donde se presenta todo lo descrito anteriormente. Se indica los parámetros eléctricos del cargador, el tiempo de funcionamiento y la energía diaria que produce.

Tabla 5. Especificaciones de carga y energía diaria total

Especificación de carga y tiempo de funcionamiento						
Carga	Unidad	Voltaje	Corriente	Potencia	Horas funcionando	Energía
<i>Tipo</i>	<i>#</i>	<i>V</i>	<i>I</i>	<i>Watts</i>	<i>Horas</i>	<i>Watt /día</i>
<i>Celulares, MP3s, IPads, etc.</i>	5	4.5 - 5.5	1.5 - 2.5	10	5	250
<i>Total</i>	5	5	2	10	5	250

En la Tabla 6 que se presenta a continuación, se muestra el número de dispositivos que se pueden cargar, en función del tiempo que se encuentren conectados al cargador.

Tabla 6. Distribución de energía diaria: dispositivos vs tiempo de uso

Distribución de energía según horas de uso dispositivos vs tiempo de uso			
Dispositivos	Energía	Tiempo de uso	Energía total diaria
5	50 watts	5 horas	250 watts/día (50 watts por hora en carga máxima)
10	100 watts	2 horas 30 min	
20	200 watts	1 hora 15 min	
30	300 watts	50 min	
40	400 watts	38 min	
50	500 watts	30 min	
60	600 watts	25 min	

Finalmente, en la Tabla 7 se presenta el promedio de energía mensual y anual que se estima producirá el dispositivo funcionando en su máxima capacidad todos los días.

Tabla 7. Consumo de energía promedio mensual y anual

Consumo promedio de energía		
Promedio mensual en 24 días	6000	Watts/mes
	6	Kw/mes
<i>No incluye domingos</i>		
Promedio anual en 9 meses	54000	Watts/año
	54	Kw/año
<i>3 meses menos por vacaciones</i>		

4.2 Lista de elementos dimensionados y seleccionados

Para el dimensionamiento y selección de cada uno de los elementos que conforman el cargador eléctrico a partir de energía solar se considera el procedimiento de cálculo descrito a detalle en el marco teórico.

Proceso de instalación

Los resultados del estudio de campo realizado entrega los siguientes valores:

- a) Espacio físico donde se va a instalar el panel:** estructura metálica diseñada según los requerimientos del proyecto y presentada en la sección de “Construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar en la ESFOT-EPN”.
- b) Sombras que puedan interferir en la superficie del panel:** las sombras existentes no representan un valor considerable de interferencia en el panel solar.
- c) Distancia de cada elemento entre sí del sistema fotovoltaico:** la distancia entre cada elemento se presenta más adelante en la sección de “Construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar en la ESFOT-EPN”.
- d) Distancia existente entre el punto de consumo y el sistema de generación:** por la naturaleza del proyecto el punto de consumo y el sistema de generación se encuentran en el mismo espacio físico.
- e) Espacio físico para los elementos que conforman el sistema fotovoltaico:** tanto la estructura como los elementos del sistema fotovoltaico se encuentran en la Escuela Politécnica Nacional.

Los principales parámetros de funcionamiento del sistema fotovoltaico aislado de la red son:

a) Respecto al lugar de instalación del sistema:

Latitud del país (-0.1°)

Irradiación promedio en el peor mes:

Datos NASA: 4.02 (HSP)⁴

Datos INAMHI: 3.98 (HSP)⁵

Datos software CENSOL: 4.5 (HSP)⁶

Datos MEER: 4.5 (HSP)⁷

b) Autonomía del sistema fotovoltaico (A): la autonomía de la instalación es de medio día, considerando que: la jornada de estudios comprende 5 días (lunes a viernes), el lapso de tiempo que es útil el dispositivo es de 10 horas diarias (8h00 am a 18h00) y que la irradiación solar debido a la posición geográfica de Ecuador es constante.

c) Tensión nominal del sistema fotovoltaico: el voltaje nominal de la carga es de 5 (V), como se lo indico anteriormente en la sección de requerimientos, no obstante, los elementos están estandarizados a 12 voltios que es un valor comercial y normalizado.

d) Estimación de carga del sistema (Ed): la estimación de la carga se determinó anteriormente en la sección de requerimientos dando como resultados los siguientes datos.

- a) Potencia de la carga 10 (W) individual y 50 (W) total o carga máxima.
- b) Tiempo de funcionamiento de la carga 5 (horas máximo).
- c) Consumo de energía promedio diario de la carga 250 (Watts x día).

Procedimiento de cálculo

La energía promedio diaria es de 250 watts según lo descrito anteriormente en la sección de requerimientos sin embargo se añade a este valor 30 watts para iluminación durante la noche, dando como resultado total una energía promedio diaria requerida de 280 watts/día (Ed).

1. Cálculo de la energía diaria corregida. E_c (1)

$$Ed1 = \frac{Ed}{n_{reg}}$$

⁴ Datos obtenidos de la página web oficial de la NASA: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>

⁵ Datos obtenidos de la página web oficial de INHAMI: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>

⁶ Datos obtenidos del software de energía fotovoltaica CENSOLAR.

⁷ Datos obtenidos del atlas solar Ecuador elaborado por CONELEC.

$$Ed1 = \frac{280 \text{ W/día}}{0.9}$$

$$Ed1 = 311.11 \text{ [W/día]}$$

Ed1= energía diaria corregida con rendimiento regulador de carga (watts/día)

Nreg= eficiencia energética del regulador de carga= 0.9 (adimensional)

2. Cálculo del sistema de acumulación. Ec (2)

$$C = \frac{1.1 \times Ed1 \times A}{Pd \times Vn}$$

$$C = \frac{1.1 \times 311.11 \text{ W/día} \times 0.5 \text{ día}}{0.6 \times 12 \text{ V}}$$

$$C = \frac{171.11 \text{ W}}{7.2 \text{ V}}$$

$$C = 23.76 \text{ [A]}$$

C= capacidad de acumulación (amperios hora)

1.1= factor de seguridad (adimensional)

A= autonomía de medio día= 0,5 (día)

Pd= profundidad de descarga batería= 0.6 (60%)

Vn= voltaje nominal de la instalación= 12 (voltios)

3. Estandarización de batería solar

Con el resultado obtenido en el punto 2 se estandariza la capacidad de la batería que en este caso es de 24 Ah. La capacidad nominal de la batería es de 24 Ah (Cn).

4. Cálculo de la autodescarga de la batería. Ec (3)

$$Ades = Cn \times 0.0001 \times Vn$$

$$Ades = 24 \text{ A} \times 0.0001 \times 12 \text{ V}$$

$$Ades = 0.029 \text{ [W]}$$

Cn= capacidad nominal de la batería= 24 (amperios hora)

Ades= autodescarga de la batería (vatios)

0.0001= factor de autodescarga (adimensional)

5. Cálculo de la capacidad útil de la batería. Ec (4)

$$Cu = Cn \times Pd \text{ (amperios hora)}$$

$$Cu = 24 \text{ Ah} \times 0.6$$

$$Cu = 14.4 \text{ [Ah]}$$

6. Cálculo de la energía diaria corregida total. Ec (5)

$$Et = Ed1 + Ades \text{ (watts/día)}$$

$$Et = 311.11 \text{ W/día} + 0.029 \text{ W/día}$$

$$Et = 311.14 \text{ [W/día]}$$

7. Cálculo de la potencia que deben cubrir los paneles solares. Ec (6)

$$Ppg = \frac{Et}{HSP \times 0.9}$$

$$Ppg = \frac{311.14 \text{ W/día}}{3.98 \text{ Wh/m}^2 \times \text{día} \times 0.9}$$

$$Ppg = \frac{311.14}{3.58}$$

$$Ppg = 86.9 \text{ [W]}$$

Ppg= potencia pico generada por paneles solares (watts)

HSP= horas solar pico peor mes del año (dato más bajo INAMHI= 3.98).

0.9= factor de seguridad por eficiencia de paneles, considerando pérdidas por sombras, polvo, etc.

8. Estandarización de paneles solares

Con el resultado obtenido en el punto 6 se estandariza, la potencia del panel que para el caso del resultado obtenido es de 100 watts. La potencia nominal del panel es de 100 W.

9. Cálculo de número de paneles en serie y en paralelo del sistema.

Serie. Ec (7)

$$N^{\circ} p/r = \frac{Vn}{Vnp}$$

$$N^{\circ} p/r = \frac{12 \text{ V}}{18.3 \text{ V}}$$

$$N^{\circ} p/r = 0.66$$

N° p/r = Como debe ser un valor entero se aproxima a 1

N° p/r= número de paneles por rama

Vnp= voltaje nominal del panel= 18.3 (voltios)

Paralelo. Ec (8)

$$N^{\circ} r = \frac{Ppg}{Ppp \times N^{\circ} p/r}$$

$$N^{\circ}r = \frac{86.9 W}{100 W \times 1}$$

$$N^{\circ}r = 0.869$$

N^or = Como debe ser un valor entero se aproxima a 1

N^or= número de ramas

PPP= potencia pico del panel estandarizado (watts)

10. Selección del regulador de carga

Tensión del regulador: 12 voltios.

Corrientes del regulador de carga:

$$\text{Corriente de entrada} = 1.25 \times I_{sc}$$

$$\text{Corriente de entrada} = 1.25 \times 5.95 A$$

$$\text{Corriente de entrada} = 7.44 [A]$$

I_{sc}= Corriente de cortocircuito del campo generador= 5.95 A

$$\text{Corriente de salida} = 1.25 \times I_{out}$$

$$\text{Corriente de salida} = 1.25 \times 10 A$$

$$\text{Corriente de salida} = 12.5 [A]$$

I_{out}= corriente de salida de carga total

11. Cálculo de calibre de los conductores

Caídas de tensión máximas permisibles [17]

a) Generador – regulador (3%)

b) Regulador – batería (2%)

c) Regulador – carga (3%)

Generador – regulador Ec (9)

$$S = \frac{2 \times C \times P_o \times P \times L}{\Delta V \times V}$$

$$S = \frac{2 \times 0.1 \times 0.0172 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m} \times 100 W \times 4.5 m}{0.03 V \times 18 V}$$

$$S = \frac{1,55 \text{ mm}^2 \times V^2}{0.54 V^2}$$

$$S = 2.87 \text{ mm}^2$$

S = Conductor AWG # 12 THW Estandarizado

S= sección del conductor (mm²)

2= factor de seguridad

C= incremento de resistencia en alterna (adimensional)

Po= resistividad del cobre (0.0172 en cobre Ω x mm² / m)

P= potencia

L= longitud entre cada elemento (m)

ΔV= caída de tensión permisible

V= voltaje de salida

Regulador – batería_Ec (9)

$$S = \frac{2 \times C \times P_o \times P \times L}{\Delta V \times V}$$

$$S = \frac{2 \times 0.1 \times 0.0172 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m} \times 288 \text{ W} \times 0.8 \text{ m}}{0.02 \text{ V} \times 12 \text{ V}}$$

$$S = \frac{0.79 \text{ mm}^2 \times \text{V}^2}{0.24 \text{ V}^2}$$

$$S = 3.29 \text{ mm}^2$$

S = Conductor AWG # 12 THW Estandarizado

S= sección del conductor (mm²)

2= factor de seguridad

C= incremento de resistencia en alterna (adimensional)

Po= resistividad del cobre (0.0172 en cobre Ω x mm² / m)

P= potencia

L= longitud entre cada elemento (m)

ΔV= caída de tensión permisible

V= voltaje de salida

Regulador – cargas Ec (9)

$$S = \frac{2 \times C \times P_o \times P \times L}{\Delta V \times V}$$

$$S = \frac{2 \times 0.1 \times 0.0172 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m} \times 120 \text{ W} \times 2.8 \text{ m}}{0.03 \text{ V} \times 12 \text{ V}}$$

$$S = \frac{1.16 \text{ mm}^2 \times \text{V}^2}{0.36 \text{ V}^2}$$

$$S = 3.22 \text{ mm}^2$$

S = Conductor AWG # 12 THW Estandarizado

S= sección del conductor (mm²)

2= factor de seguridad

C= incremento de resistencia en alterna (adimensional)

Po= resistividad del cobre ($\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$)

P= potencia

L= longitud entre cada elemento (m)

ΔV = caída de tensión permisible

V= voltaje de salida

12. Angulo de inclinación óptima de los paneles solares

El ángulo de inclinación óptimo de paneles solares en la zona ecuatorial y cercanías es de 0°, es decir en posición totalmente horizontal, sin embargo, para evitar la acumulación de polvo y suciedad en la superficie superior de los paneles, se recomienda que el ángulo de inclinación sea de entre 5° y 15° [25].

La orientación de los paneles se establece en función de la trayectoria que sigue el sol a lo largo del día, para el caso de Ecuador esta trayectoria es de Este a Oeste.

4.3 Análisis de costos

Una de las principales limitaciones que trae consigo la implementación de sistemas fotovoltaicos es la inversión económica inicial que se requiere. Los equipos, la estructura soporte y todos los elementos en sí que forman parte de un sistema fotovoltaico son costosos.

Para el caso de Ecuador la inversión económica inicial es mucho más alta debido a que los principales elementos que conforman el sistema fotovoltaico como son: paneles solares, baterías estacionarias y reguladores de carga solar son importados.

Es importante considerar el aspecto económico dentro del proyecto ya que a futuro para replicarlo es uno de los factores más incidentes en la fase de implementación.

Con el fin de estimar el valor económico que tiene el proyecto: "CONSTRUCCIÓN DE UN CARGADOR ELÉCTRICO A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS ESFOT-EPN" a continuación, se detallan los costos de todos los equipos, materiales, infraestructura, diseño e ingeniería.

En el resumen de costos que se describe a continuación se muestran únicamente los costos de los equipos, materiales, estructura soporte, adquiridos y no de todas las

cotizaciones realizadas ya que el objetivo de presentar estos resultados es esencialmente mostrar una cuantía del proyecto.

En la Tabla 8 se presenta el resumen de costos junto con la descripción de los equipos que forman el sistema fotovoltaico aislado de la red como son: panel solar, batería de ciclo profundo y regulador de carga solar.

Tabla 8. Resumen de costos: equipos de sistema fotovoltaico aislado de la red

Costos equipos			
Cantidad	Equipo	Descripción	Valor (dólares)
1	Panel solar	Panel solar 100 Wp / 12 Vdc	\$ 134,40
1	Batería estacionaria	Batería OT 24 Ah / 12 Vdc	\$ 100,00
1	Regulador carga	ZCM2012 20 A / 12 Vdc	\$23,31
			\$ 257,71

En la Tabla 9 se muestra el resumen de costos junto con la descripción de los elementos que forman la estructura soporte para el cargador eléctrico.

Tabla 9. Resumen de costos: estructura soporte

Costos estructura soporte			
Cantidad	Equipo	Descripción	Valor (dólares)
1	Tubo	Tubo cuadrado de 2 pulgadas	\$ 30,00
1	Tol	Plancha tol galvanizado	\$ 35,00
1	Vidrio	Vidrio 50 x 50 cm de 3 líneas	\$ 8,00
1	Pintura	Galón color plata	\$ 15,00
1	Fabricación	Mano de obra	\$ 50,00
1	Extras	Pernos, chapa, etc.	\$ 25,00
			\$ 163,00

En la Tabla 10 se indica el resumen de costos junto con la descripción de los elementos que forman el circuito de acondicionamiento de carga, mismo que será descrito en la siguiente sección de: “Construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar en la ESFOT- EPN”.

Tabla 10. Resumen de costos: circuito acondicionamiento

Costos circuito de acondicionamiento			
Cantidad	Equipo	Descripción	Valor (dólares)
5	LM78S05	Regulador 5V / 2A	\$ 7,50
5	Disipadores	Disipadores de calor medianos	\$ 5,00
5	Capacitores	Electrolíticos 0,33 uF / 50 V	\$ 0,50
5	Capacitores	Electrolíticos 0,1 uF / 50 V	\$ 0,50
5	USB	Conectores USB tipo A	\$ 0,75
5	Fusilera	Portafusible para chasis	\$ 2,50
5	Fusibles	Pequeños 2A	\$ 0,75
15	Borneras	Pequeñas 2 pines	\$ 3,50
1	Baquelita	Tamaño A4	\$ 3,00
1	Ácido férrico	Funda pequeña	\$ 1,50
1	Pasta	Pasta térmica grande	\$ 2,25
1	Estaño	Tubo pequeño estaño	\$ 2,25
			\$ 30,00

En la Tabla 11 se puede observar el resumen de costos junto con la descripción de los elementos complementarios que forman el cargador eléctrico a partir de energía solar; entre estos elementos se encuentran: protecciones, cables, transporte de materiales, elementos de sujeción para la estructura soporte.

Tabla 11. Resumen de costos: elementos complementarios

Costos elementos complementarios			
Cantidad	Equipo	Descripción	Valor (dólares)
1	Banca	Banca metálica 3 asientos	\$ 400,00
1	Protección	Fusible 1 polo 10 A y fusilera	\$ 5,00
1	Protección	Fusible 1 polo 15 A y fusilera	\$ 5,00
1	Cable	20 metros AWG # 12	\$ 12,00
1	Extras	Pernos, lija, borneras, etc.	\$ 50,00
1	Base	Base de cemento para estructura	\$ 20,00
			\$ 492,00

En la Tabla 12 se presenta el resumen de costos por diseño e ingeniería del proyecto: entre estos costos constan las actividades de cálculo, diseño, selección de equipos, montaje de equipos y conexiones.

Tabla 12. Resumen de costos: diseño e ingeniería

Costos diseño e ingeniería		
Cantidad	Descripción del costo	Valor (dólares)
1	Cálculos de estimación de carga, diseño de cargador y selección de equipos.	\$ 300
1	Diseño e implementación de circuito de acondicionamiento	\$ 150
1	Montaje e instalación de equipos en estructura	\$ 200
1	Pruebas de funcionamiento	\$ 150
		\$ 800

En la Tabla 13 se indica el resumen de costos totales para la construcción del cargador eléctrico a partir de energía solar para dispositivos electrónicos ESFOT-EPN; en esta tabla se incluyen todos los costos descritos anteriormente en las tablas: 8, 9, 10,11 y 12.

Tabla 13. Resumen de costos totales

Costos totales	
Descripción del costo	Valor (dólares)
Equipos sistema fotovoltaico aislado de la red	\$ 257,71
Estructura soporte	\$ 163,00
Circuito de acondicionamiento	\$ 30,00
Elementos complementarios	\$ 492,00
Diseño e ingeniería	\$ 800,00
\$ 1742,71	

Cabe resaltar que el precio final del proyecto que se indica en la tabla 13 es solo referencial; en función de la calidad de los equipos, el lugar donde se los adquiera, las características eléctricas, el diseño de la estructura soporte, etc., este precio podría variar ya sea aumentando o disminuyendo su valor.

4.4 Construcción del cargador en la ESFOT-EPN

Estructura soporte

La estructura soporte donde se encuentran todos los elementos del cargador eléctrico debe cumplir con ciertos parámetros que permitan el correcto funcionamiento del dispositivo.

Los principales parámetros por cumplir son los que se describen a continuación:

- a) *Protección de elementos de la intemperie*: los equipos que no pueden estar en la intemperie tales como: regulador de carga, circuitos de acondicionamiento, protecciones, batería solar, etc., deben estar protegidos de condiciones adversas del ambiente como: polvo, lluvia, granizo, viento, etc.
- b) *Rigidez y sujeción*: la estructura soporte debe sujetar los equipos de tal forma que estos se encuentren fijos, no se muevan con esfuerzos mecánicos, no se despeguen y principalmente no se desconecten entre sí.
- c) *Seguridad*: la estructura soporte debe garantizar la seguridad de los equipos contra robos y contra la manipulación de personas que no correspondan al mantenimiento del dispositivo.
- d) *Estética*: la estructura debe ser estética a la vista de los usuarios.

Considerando los parámetros que se describieron anteriormente, la estructura soporte ensamblada para el cargador eléctrico cumple con las características que se muestran a continuación en la Tabla 14.

Tabla 14. Características estructura soporte

Características estructura soporte		
Parilla	Dimensiones	Largo= 2300 mm - Ancho= 600 mm
	Material cuerpo	Tol galvanizado 1/20
	Peso	6 kg
	Inclinación	10 °
Postes	Dimensiones	Altura máxima 1700 mm
	Material cuerpo	Tubo cuadrado 2 pulgadas
	Peso	5 kg
Tablero	Dimensiones	Largo= 500 mm – Ancho= 500 mm Fondo= 200 mm
	Material cuerpo	Tol galvanizado 1/20
	Peso	4 kg
	IP	65
	Puerta	Chapa y vidrio de 4 líneas

El cargador eléctrico armado y conectado con sus respectivos componentes de forma física se presenta en el Anexo 1. Ver anexo 1.

Considerando que uno de los objetivos de implementar un cargador eléctrico a partir de energía solar en la ESFOT-EPN es difundir información sobre energías alternativas, así como incentivar al uso de energías renovables; la estructura soporte debe permitir el uso del cargador eléctrico como un módulo didáctico; para lo cual además de todos los equipos, la estructura debe contar con información técnica del dispositivo.

A continuación, se presentan las características que tiene la estructura soporte para que el cargador eléctrico funcione como módulo didáctico de aprendizaje.

- a) *Visibilidad de equipos y conexiones*: los equipos y las conexiones entre sí, aunque no son accesibles si son visibles para el usuario.
- b) *Datos técnicos de los equipos*: la información técnica general de cada equipo del sistema fotovoltaico autónomo se presenta incluida en la estructura soporte.
- c) *Diagrama de conexiones*: aunque las conexiones son visibles, el esquema eléctrico de todos los componentes del cargador eléctrico se muestra en la estructura soporte.
- d) *Descripción general del cargador eléctrico*: uno de los principales informativos que tiene la estructura soporte es la guía de funcionamiento del dispositivo.
- e) *Guía de uso del cargador eléctrico*: el regulador de carga solar es uno de los equipos dentro del sistema fotovoltaico autónomo que indica al usuario el nivel de carga de la batería y del dispositivo en general, por tal razón es imprescindible que se incluya en la estructura soporte el informativo que indique como funciona este equipo.

En el Anexo 2 se observa la infografía correspondiente a las indicaciones de uso del cargador, en el Anexo 3 se muestra la infografía del diagrama eléctrico del dispositivo. Ver anexos 2 y 3.

Disposición de elementos de cargador eléctrico

Uno de los parámetros a considerar para la construcción de un sistema fotovoltaico aislado de la red es la disposición de cada uno de los elementos que forman este sistema.

En función de este parámetro no sólo se calcula el calibre del conductor que une a cada elemento, sino que también se determina el diseño de la estructura soporte la cual contiene a cada uno de los elementos que forman parte del cargador eléctrico a partir de energía solar.

Las dimensiones de cada elemento que forma el sistema fotovoltaico aislado de la red se presentan en el Anexo 4. El plano de la estructura soporte, de la banca y de los equipos montados en su respectivo lugar se presenta en el Anexo 5. En el Anexo 6, se muestran las dimensiones y vistas de la estructura soporte, de la banca y de los equipos montados en su respectivo lugar. Ver anexos 4, 5 y 6.

Descripción elementos de cargador eléctrico

Según los cálculos realizados en la sección de “Lista de elementos dimensionados y seleccionados en base al requerimiento preestablecido”, los equipos que se requieren para la construcción de un cargador eléctrico a partir de energía solar con una demanda diaria de 250 w son, en resumen:

a) Sistema de generación: 1 Panel solar de 100 W.

La carga máxima que se estima es de 50 vatios pico, sin embargo, el panel solar seleccionado es de 100 vatios pico, dando como resultado una eficiencia del sistema de generación del 50%.

El sobredimensionamiento del sistema de generación se debe a que se espera futuras ampliaciones al proyecto y debido a la eficiencia energética de los paneles solares que como ya se ha tratado anteriormente es una de las principales limitaciones en los proyectos de esta índole.

b) Sistema de acumulación: 1 Batería estacionaria de 24 Ah – 12 V.

La potencia de la batería de ciclo profundo seleccionada es de 288 W, sin embargo, hay que considerar que este elemento almacena la energía producida por el panel y abastece de energía a la carga todo el tiempo, razón por la cual la batería de ciclo profundo debe ser robusta y brindar la garantía de que el sistema tendrá energía durante todo el día.

c) Sistema de regulación: 1 Regulador de carga solar 20 A – 12V.

La potencia pico del regulador de carga solar es de 240 W ya que se espera al igual que con el sistema de generación futuras ampliaciones al proyecto, Cabe resaltar que con la eficiencia del panel solar seleccionado que es del 90% se podría colocar incluso otro panel de 100 W en el sistema fotovoltaico utilizando el mismo regulador de carga solar.

En la Figura 11, se observa un diagrama de pérdidas del panel solar, donde se ratifica lo antes descrito.

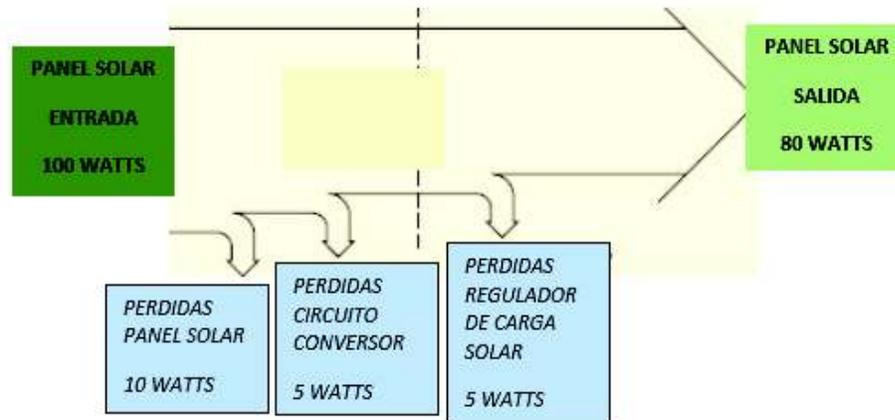


Figura 11. Pérdidas en panel solar

Las hojas técnicas del panel solar, regulador de carga solar y batería estacionaria se presentan en los anexos 7, 8 y 9 respectivamente. Ver anexo 7, 8 y 9.

El diagrama eléctrico de conexiones, de todos los elementos que forman el cargador eléctrico a partir de energía solar, se muestran en el anexo 10. Ver anexo 10.

Circuito de Acondicionamiento:

La salida del regulador de carga entrega 12 V, sin embargo, las especificaciones de la carga indican que esta funciona a 5 V y 2 A por lo que es necesario un circuito de acondicionamiento que permita regular estos parámetros eléctricos.

El circuito de acondicionamiento implementado consta de un circuito integrado 78S05 y capacitores a la entrada y a la salida del regulador, en una configuración según lo indica la hoja técnica del circuito integrado llamada "Regulador de salida fija".

Este circuito de acondicionamiento se lo replica 5 veces, ya que según el diseño del cargador existen 5 salidas o tomas de energía.

Es necesario colocar disipadores de calor con los reguladores de voltaje 78S05 con el fin de alcanzar la eficiencia dada por el fabricante y garantizar un mejor funcionamiento del circuito de acondicionamiento.

Las funciones que cumplen cada uno de los elementos del circuito de acondicionamiento se describen a continuación:

- a) *Circuito integrado 78S05*: regula una entrada de voltaje de hasta 35 V a una salida regulada de 5 V.

- b) *Capacitor de entrada*: funciona como filtro de la fuente de entrada y estabiliza oscilaciones de voltaje de la alimentación.
- c) *Capacitor de salida*: estabiliza la señal de salida del regulador de voltaje 78S05.

Elementos adicionales:

El elemento para la conexión de los dispositivos electrónicos es un USB hembra tipo A. Con el fin de garantizar que la carga conectada al cargador eléctrico no supere la corriente nominal de diseño, el conector USB se encuentra en serie con fusibles de 2 A montados en fusileras tipo chasis.

Las protecciones consideradas para el cargador eléctrico son: un fusible de 10 A entre el sistema de generación y el sistema de regulación y un fusible de 15 A ubicado entre el sistema de regulación y la carga; no se consideran protecciones adicionales ya que cada elemento del dispositivo cumple con una función de protección del sistema en general.

El conductor utilizado entre los: sistema de generación – sistema de regulación, sistema de regulación – sistema de acumulación y sistema de regulación – carga, es de calibre 12 AWG THW, la selección del calibre del conductor está dada según lo calculado anteriormente en la sección de “Lista de elementos dimensionados y seleccionados en base al requerimiento preestablecido”. El aislante del conductor es termoplástico resistente al calor y la humedad (THW), ya que los conductores se encuentran dentro de la tubería de la estructura diseñada, este aislante se lo utiliza principalmente para interiores y para aplicaciones de baja potencia como en el caso del presente proyecto.

En el Anexo 11, se muestra el circuito de acondicionamiento ideal diseñado en Proteus con todos sus componentes. En el Anexo 12, se muestra el circuito de acondicionamiento real donde se reemplaza algunos elementos por conectores. En el Anexo 13, se presenta el diseño del circuito en PCB. Ver anexos 11, 12 y 13.

En el Anexo 14, se muestra la hoja técnica del regulador de voltaje 78S05 empleado para la implementación del circuito de acondicionamiento. Ver anexo 14.

4.5 Resultado pruebas de funcionamiento

Las pruebas que se realizan para comprobar el estado de los equipos, funcionando tanto de manera individual como de manera grupal se las realiza en dos etapas.

Es importante realizar las pruebas que se describen a continuación en ambas etapas, ya que el hacerlo garantiza el correcto funcionamiento del cargador eléctrico a partir de energía solar construido.

Pruebas en preinstalación de equipos

Las pruebas en la preinstalación de los equipos son fundamentales para comprobar que los elementos adquiridos están en buen estado. Se realizan mediciones eléctricas a cada componente del cargador eléctrico antes de ser montados en la estructura e interconectados entre sí.

Para el caso del panel solar fotovoltaico se realizan las mediciones de voltaje y corriente en condiciones de circuito abierto o lo que es lo mismo sin carga, posterior a ello se puede calcular la potencia en vacío que genera el panel solar

Protocolo de pruebas

- a) Verificar que se cuenta con el equipo de protección personal, herramientas y el equipo de medición adecuado para la prueba en este caso un multímetro y una pinza amperimétrica.
- b) Pelar con una cortadora el aislante de los terminales de los conductores del panel solar (el polo positivo y el polo negativo).
- c) Para realizar la medición de voltaje en circuito abierto, colocar el multímetro en la función de voltaje en CC con una escala de al menos 20 voltios.
- d) Unir el terminal positivo y negativo del panel con el terminal positivo y negativo del multímetro respectivamente.
- e) Observar y anotar la medición obtenida del voltaje a circuito abierto.
- f) Para realizar la medición de corriente de cortocircuito, colocar la pinza amperimétrica en la función de corriente en CC con una escala de al menos 10 amperios.
- g) Cortocircuitar los polos positivo y negativo del panel solar.
- h) Ubicar la pinza amperimétrica entre los conductores cortocircuitados.
- i) Observar y anotar la medición obtenida de la corriente de cortocircuito.
- j) Repetir este procedimiento al menos 3 días cuando la radiación del sol es la máxima, es decir al medio día.

En la Tabla 15 constan los resultados de las mediciones de voltaje y corriente, la potencia calculada y el margen de variación que tiene el equipo con respecto al valor nominal o ideal dado por el fabricante y la hoja técnica.

Tabla 15. Pruebas eléctricas panel solar

Pruebas eléctricas a panel solar			
Parámetro eléctrico	Valor ideal	Valor medido	Margen de variación
Corriente Isc (Amperios)	6,12	6,02	1,63 %
Voltaje Voc (Voltios)	21,60	20,50	5,09 %
Potencia Poc (Watts)	132,20	123,41	6,64 %

Para la batería estacionaria las pruebas en la etapa de preinstalación son mucho más limitadas, se mide únicamente el voltaje de la batería, todos los demás parámetros eléctricos como son: corriente, carga, descarga, etc., requiere que se conecten los demás elementos del cargador lo cual entra en la segunda etapa de pruebas a los equipos.

Protocolo de pruebas

- a) Verificar que se cuenta con el equipo de protección personal, herramientas y el equipo de medición adecuado para la prueba en este caso un multímetro
- b) Para realizar la medición de voltaje de la batería, colocar el multímetro en la función de voltaje en CC con una escala de al menos 15 voltios.
- c) Unir los polos positivo y negativo de la batería estacionaria con el terminal positivo y negativo del multímetro respectivamente
- d) Observar y anotar la medición obtenida del voltaje de la batería.
- e) Repetir este procedimiento al menos 2 veces por día, hasta instalar la batería

En la Tabla 16 se observa el resultado de la medición de voltaje y el margen de variación que tiene el equipo con respecto al valor nominal o ideal dado por el fabricante y la hoja técnica.

Tabla 16. Pruebas eléctricas batería solar

Pruebas eléctricas a batería solar			
Parámetro eléctrico	Valor ideal	Valor medido	Margen de variación
Voltaje Vn (Voltios)	12,00	12,65	5,14 %

En el caso del regulador de carga solar, las pruebas eléctricas para la etapa de preinstalación implican conectar el panel solar y la batería de carga solar al regulador, pero sin conectar carga, al realizar este procedimiento se pueden medir parámetros

eléctricos tales como: corriente de entrada al regulador, voltaje de salida y corriente de salida en vacío o sin carga.

Protocolo de pruebas

- a) Verificar que se cuenta con el equipo de protección personal, herramientas y el equipo de medición adecuado para la prueba en este caso un multímetro y una pinza amperimétrica.
- b) Pelar con una cortadora el aislante de los terminales de los conductores del panel solar (el polo positivo y el polo negativo).
- c) Cortar y pelar los terminales de dos pares de cables que permitan conectar la batería y el panel solar al regulador de carga.
- d) Con un destornillador estrella aflojar los tornillos de las borneras del regulador de carga.
- e) Unir el terminal positivo y negativo del panel con el terminal positivo y negativo del regulador de carga respectivamente en la sección del panel.
- f) Unir el terminal positivo y negativo de la batería con el terminal positivo y negativo del regulador de carga respectivamente en la sección de la batería.
- g) Para realizar la medición de voltaje del regulador, colocar el multímetro en la función de voltaje en CC con una escala de al menos 15 voltios.
- h) Colocar el terminal negativo y positivo del multímetro en la salida del regulador en el terminal negativo y positivo respectivamente.
- i) Observar y anotar la medición obtenida del voltaje del regulador de carga.
- j) Para realizar la medición de corriente de entrada del regulador, colocar la pinza amperimétrica en la función de corriente en CC con una escala de al menos 10 amperios.
- k) Ubicar la pinza amperimétrica entre la unión de los conductores positivos del panel y el regulador de carga.
- l) Observar y anotar la medición obtenida de la corriente de entrada.
- m) Para medir la corriente de salida del regulador en vacío colocar el multímetro en la función de corriente con una escala de al menos 10 amperios.
- n) Conectar en serie el terminal positivo del multímetro con el terminal positivo del regulador a la salida.
- o) Observar y anotar la medición obtenida de la corriente de salida.
- p) Repetir este procedimiento mínimo 2 veces antes de montar los equipos definitivamente.

En la Tabla 17 se presenta el resultado de la medición de corriente de entrada y salida, voltaje de salida y el margen de variación que tiene el equipo con respecto al valor nominal o ideal dado por el fabricante y la hoja técnica.

Tabla 17. Pruebas eléctricas regulador de carga solar

Pruebas eléctricas a regulador de carga solar			
Parámetro eléctrico	Valor ideal	Valor medido	Margen de variación
Voltaje Vout (Voltios)	12,00	12,70	5,51 %
Corriente lin (Amperios)	5,49	5,10	7,10 %
Corriente loc (Amperios)	13,00 m	11.00 m	15,38 %

El último equipo o elemento que debe ser sometido a pruebas de funcionamiento en la fase de preinstalación es el circuito de acondicionamiento de carga diseñado para regular el voltaje al cual funciona la carga del dispositivo.

Las pruebas realizadas a este elemento se las realizan conectando el circuito de acondicionamiento en la entrada con una fuente de voltaje de corriente continua de 12 voltios, misma que simula el generador fotovoltaico, y a la salida una carga que cumpla con las características propuestas en la sección de requerimientos, es decir que funcionen a 5 voltios y 2 amperios. Con estas dos condiciones se realizan mediciones de voltaje de salida y corriente de salida, luego se puede obtener mediante cálculos la potencia que suministra el regulador de voltaje implementado.

Protocolo de pruebas

- a) Verificar que se cuenta con el equipo de protección personal, herramientas y el equipo de medición adecuado para la prueba en este caso un multímetro. Para esta prueba se requiere de una fuente DC de 12 voltios y al menos 10 amperios (120 w).
- b) Unir el terminal positivo y negativo de la fuente DC con el terminal positivo y negativo del circuito de acondicionamiento respectivamente.
- c) Para realizar la medición de voltaje del circuito de acondicionamiento, colocar el multímetro en la función de voltaje en CC con una escala de al menos 10 voltios.
- d) Colocar el terminal negativo y positivo del multímetro en la salida del circuito de acondicionamiento en el terminal negativo y positivo respectivamente.
- e) Observar y anotar la medición obtenida del voltaje del circuito de acondicionamiento.

- f) Para realizar la medición de corriente de salida del circuito de acondicionamiento, colocar la pinza amperimétrica o el multímetro en la función de corriente en CC con una escala de al menos 5 amperios.
- g) Conectar una carga en el USB tipo hembra de las características especificadas para el proyecto.
- h) Ubicar la pinza amperimétrica o conectar en serie el multímetro entre la unión de los conductores positivos del circuito de acondicionamiento y la carga.
- i) Observar y anotar la medición obtenida de la corriente de salida.
- j) Repetir este procedimiento para todas las salidas USB y con diferentes cargas.

En la Tabla 18 muestra los resultados de las mediciones de voltaje y corriente de salida, la potencia calculada y el margen de variación que tiene el circuito con respecto al valor nominal o ideal dado por los cálculos y las hojas técnicas.

Tabla 18. Pruebas eléctricas circuito de acondicionamiento

Pruebas eléctricas a circuito de acondicionamiento			
Parámetro eléctrico	Valor ideal	Valor medido	Margen de variación
Corriente Iout (Amperios)	2,00	1,00	50,00 %
Voltaje Vout (Voltios)	5,00	5,02	0,40 %
Potencia Pout (Watts)	10,00	5,02	49,80 %

Cabe resaltar que el margen de variación para las pruebas realizadas al circuito de acondicionamiento es del 50 % debido a que la carga no absorbe más corriente. El diseño del cargador eléctrico es para suministrar 2 amperios sin embargo es la carga la que absorbe el amperaje que requiere para su funcionamiento.

Lo que se determina con esta prueba es que el cargador eléctrico operando normalmente permitirá la carga de más dispositivos de los establecidos por el diseño, esto debido a que no todas las cargas funcionan a 2 amperios, sino que funcionan a menos corriente.

Pruebas en post-instalación de equipos

Luego de que se han montado los equipos en la estructura soporte y se han realizado las respectivas conexiones, se deben realizar rigurosas pruebas a todos los equipos funcionando en conjunto para determinar si las conexiones y los equipos están cumpliendo con su función en el dispositivo de manera adecuada.

En el caso de la preinstalación las pruebas se clasifican en función de los equipos, para la post-instalación las pruebas se clasifican en función de las partes o subsistemas del cargador eléctrico.

Protocolo de pruebas

- a) Verificar que se cuenta con el equipo de protección personal, herramientas y el equipo de medición adecuado para la prueba.
- b) Conectar el panel solar y la batería al regulador de carga solar de la misma forma que se describió para las pruebas en preinstalación de equipos.
- c) Unir el terminal positivo y negativo del circuito de acondicionamiento con el terminal positivo y negativo del regulador de carga en la salida, respectivamente.
- d) Asegurar todas las conexiones y verificar que no existen uniones flojas o con riesgo de hacer cortocircuito.

El primer subsistema sometido a pruebas es el sistema de generación, para lo cual se realizan mediciones de voltaje, corriente y mediante cálculos, de potencia, tanto con carga como sin carga.

Protocolo de pruebas

- a) Verificar que se cuenta con el equipo de protección personal, herramientas y el equipo de medición adecuado para la prueba en este caso un multímetro y una pinza amperimétrica.
- b) Para realizar la medición de voltaje del sistema de generación, colocar el multímetro en la función de voltaje en CC con una escala de al menos 20 voltios.
- c) Colocar el terminal negativo y positivo del multímetro en el terminal negativo y positivo de la entrada del regulador.
- d) Conectar cargas progresivamente en las tomas USB.
- e) Observar y anotar la medición obtenida del voltaje del sistema de generación para cada paso de carga.
- f) Para realizar la medición de corriente del sistema de generación, colocar la pinza amperimétrica o el multímetro en la función de corriente en CC con una escala de al menos 10 amperios.
- g) Colocar la pinza amperimétrica entre los terminales positivos del panel solar y el regulador de carga a la entrada.
- h) Conectar cargas progresivamente en las tomas USB.

- i) Observar y anotar la medición obtenida de corriente del sistema de generación para cada paso de carga.

Como la carga es variable en la Tabla 19 se presentan los resultados obtenidos de mediciones de voltaje, corriente, y potencia para cada paso de carga, así como el margen de variación que tiene el sistema de generación con respecto a los valores teóricos o ideales.

Tabla 19. Pruebas sistema de generación

Pruebas eléctricas sistema de generación									
Cargas	Corriente (A)			Voltaje (V)			Potencia (W)		
	Ideal	Real	Err	Ideal	Real	Err	Ideal	Real	Err
Vacío	6,12	6,02	1,63 %	21,60	20,50	5,10 %	132,20	123,41	6,64 %
1	5,49	5,38	2,00 %	18,20	17,70	2,15 %	100,00	95,23	4,77 %
2	5,49	5,29	3,64 %	18,20	17,50	3,85 %	100,00	92,57	7,43 %
3	5,49	5,27	4,00 %	18,20	17,50	3,85 %	100,00	92,22	7,78 %
4	5,49	5,25	4,37 %	18,20	17,30	4,95 %	100,00	90,82	9,18 %
5	5,49	5,24	4,55 %	18,20	17,30	4,95 %	100,00	90,65	9,35 %

El segundo subsistema sometido a pruebas es el sistema de acumulación, para lo cual se realizan mediciones de voltaje, corriente, carga y descarga de la batería.

Protocolo de pruebas

- Verificar que se cuenta con el equipo de protección personal, herramientas y el equipo de medición adecuado para la prueba en este caso un multímetro y una pinza amperimétrica.
- Para realizar la medición de voltaje del sistema de acumulación, colocar el multímetro en la función de voltaje en CC con una escala de al menos 20 voltios.
- Colocar el terminal negativo y positivo del multímetro en el terminal negativo y positivo de la batería.
- Conectar cargas progresivamente en las tomas USB.
- Observar y anotar la medición obtenida del voltaje del sistema de acumulación para cada paso de carga.
- Para realizar la medición de corriente del sistema de acumulación, colocar la pinza amperimétrica o el multímetro en la función de corriente en CC con una escala de al menos 15 amperios.
- Colocar la pinza amperimétrica entre los terminales positivos de la batería y el regulador de carga.
- Conectar cargas progresivamente en las tomas USB.

- i) Observar y anotar la medición obtenida de corriente del sistema de acumulación para cada paso de carga.

Debido a que la carga es variable en la Tabla 20 se indican los resultados obtenidos de mediciones de voltaje y corriente para cada paso de carga, así como el margen de variación que tiene el sistema de acumulación con respecto a los valores teóricos o ideales.

Tabla 20. Pruebas sistema de acumulación

Pruebas eléctricas sistema de acumulación						
Cargas	Corriente (A)			Voltaje (V)		
	Ideal	Real	Err	Ideal	Real	Err
Vacío	6,12	6,02	1,63 %	12,00	12,65	5,14 %
1 carga	5,49	5,38	2,00 %	12,00	12,60	4,76 %
2 cargas	5,49	5,29	3,64 %	12,00	12,58	4,61 %
3 cargas	5,49	5,27	4,00 %	12,00	12,58	4,61 %
4 cargas	5,49	5,25	4,37 %	12,00	12,56	4,45 %
5 cargas	5,49	5,24	4,55 %	12,00	12,55	4,36 %

Para el caso de las pruebas de carga y descarga de la batería, se procede a medir voltaje y corriente en función del tiempo, tanto cuando está conectada la carga como cuando no lo está.

Protocolo de pruebas

- a) Verificar que se cuenta con el equipo de protección personal, herramientas y el equipo de medición adecuado para la prueba en este caso un multímetro y una pinza amperimétrica.
- b) Realizar el mismo procedimiento descrito anteriormente en cuanto a las conexiones.
- c) Para medir la carga de la batería utilizar un cronómetro y anotar las mediciones obtenidas en intervalos de 2 a 3 horas.
- d) Para medir la descarga de la batería conectar cargas progresivamente en las tomas USB
- e) Utilizar un cronómetro y anotar las mediciones obtenidas en intervalos de 2 a 3 horas.

En la Tabla 21 que se presenta a continuación se observan los resultados obtenidos de esta prueba.

Tabla 21. Prueba de carga y descarga de la batería

Pruebas eléctricas carga-descarga batería						
Tiempo	Corriente (A)			Voltaje (V)		
	Ideal	Real	Err	Ideal	Real	Err
C- 1h	6,12	6,02	1,63 %	12,00	12,65	5,14 %
C- 3h	5,49	5,38	2,00 %	12,00	12,60	4,76 %
C- 5h	5,49	5,29	3,64 %	12,00	12,60	4,76 %
C- 8h	5,49	5,27	4,00 %	12,00	12,58	4,61 %
D-1h	5,49	5,25	4,37 %	12,00	12,58	4,61 %
D- 3h	5,49	5,24	4,55 %	12,00	12,56	4,45 %
D- 5h	5,49	5,23	4,73 %	12,00	12,55	4,36 %
D- 8h	5,49	5,22	4,92 %	12,00	12,55	4,36 %

El tercer subsistema sometido a pruebas es el sistema de regulación, para lo cual se realizan mediciones de voltaje y corrientes de entrada y salida del regulador de carga solar.

Protocolo de pruebas

- a) Verificar que se cuenta con el equipo de protección personal, herramientas y el equipo de medición adecuado para la prueba en este caso un multímetro y una pinza amperimétrica.
- b) Para realizar la medición de voltaje del sistema de regulación, colocar el multímetro en la función de voltaje en CC con una escala de al menos 20 voltios.
- c) Colocar el terminal negativo y positivo del multímetro en el terminal negativo y positivo de la salida del regulador.
- d) Conectar cargas progresivamente en las tomas USB.
- e) Observar y anotar la medición obtenida del voltaje del sistema de regulación para cada paso de carga.
- f) Para realizar la medición de corriente de entrada del sistema de regulación, colocar la pinza amperimétrica o el multímetro en la función de corriente en CC con una escala de al menos 10 amperios.
- g) Colocar la pinza amperimétrica entre los terminales positivos del panel solar y el regulador de carga a la entrada.
- h) Conectar cargas progresivamente en las tomas USB.
- i) Observar y anotar la medición obtenida de corriente de entrada del sistema de regulación para cada paso de carga.

- j) Para realizar la medición de corriente de salida del sistema de regulación, colocar la pinza amperimétrica o el multímetro en la función de corriente en CC con una escala de al menos 10 amperios.
- k) Colocar la pinza amperimétrica entre los terminales positivos del regulador de carga y el circuito de acondicionamiento
- l) Conectar cargas progresivamente en las tomas USB.
- m) Observar y anotar la medición obtenida de corriente de salida del sistema de regulación para cada paso de carga.

En la Tabla 22 constan los resultados obtenidos de mediciones de voltaje y corrientes de entrada y salida para cada paso de carga, así como el margen de variación que tiene el sistema de regulación con respecto a los valores teóricos o ideales.

Tabla 22. Pruebas sistema de regulación

Pruebas eléctricas sistema de regulación									
Cargas	Corriente In (A)			Corriente Iout (A)			Voltaje Vout (V)		
	Ideal	Real	Err	Ideal	Real	Err	Ideal	Real	Err
Vacío	6,12	6,02	1,63 %	0,00	5 u	0,00 %	12,00	12,65	5,14 %
1	5,49	5,38	2,00 %	2,00	1,00	50,00 %	12,00	12,60	4,76 %
2	5,49	5,29	3,64 %	4,00	2,50	37,50 %	12,00	12,58	4,61 %
3	5,49	5,27	4,00 %	6,00	3,80	36,70 %	12,00	12,58	4,61 %
4	5,49	5,25	4,37 %	8,00	5,00	37,50 %	12,00	12,56	4,45 %
5	5,49	5,24	4,55 %	10,00	6,50	35,00 %	12,00	12,55	4,36 %

Finalmente, el cuarto subsistema sometido a pruebas es el sistema de adaptación, para lo cual se realizan mediciones de voltaje, corriente y mediante cálculos, de potencia, tanto con carga como sin carga.

Protocolo de pruebas

- a) Verificar que se cuenta con el equipo de protección personal, herramientas y el equipo de medición adecuado para la prueba en este caso un multímetro y una pinza amperimétrica.
- b) Para realizar la medición de voltaje del sistema de adaptación, colocar el multímetro en la función de voltaje en CC con una escala de al menos 10 voltios.
- c) Colocar el terminal negativo y positivo del multímetro en el terminal negativo y positivo de la salida del sistema de adaptación.
- d) Conectar cargas progresivamente en las tomas USB.
- e) Observar y anotar la medición obtenida del voltaje del sistema de adaptación para cada paso de carga.

- f) Para realizar la medición de corriente del sistema de adaptación, colocar la pinza amperimétrica o el multímetro en la función de corriente en CC con una escala de al menos 15 amperios.
- g) Colocar la pinza amperimétrica entre los terminales positivos del circuito de acondicionamiento y las cargas.
- h) Conectar cargas progresivamente en las tomas USB.
- i) Observar y anotar la medición obtenida de corriente del sistema de adaptación para cada paso de carga.

En la Tabla 23 se puede observar los resultados obtenidos de mediciones de voltaje, corriente, y potencia para cada paso de carga, así como el margen de variación que tiene el sistema de adaptación con respecto a los valores teóricos o ideales.

Tabla 23. Pruebas sistema de adaptación

Pruebas eléctricas sistema de adaptación									
Carga	Corriente (A)			Voltaje (V)			Potencia (W)		
	Ideal	Real	Err	Ideal	Real	Err	Ideal	Real	Err
Vacío	0,00	5 u	0,00 %	5,00	5,10	1,96 %	0,00	0,00	0,00 %
1	2,00	1,00	50,00 %	5,00	5,03	0,60 %	10,00	5,03	49,70 %
2	4,00	2,50	37,50 %	5,00	5,03	0,60 %	20,00	12,58	37,10 %
3	6,00	3,80	36,70 %	5,00	5,01	0,20 %	30,00	19,04	35,60 %
4	8,00	5,00	37,50 %	5,00	5,01	0,20 %	40,00	25,05	37,40 %
5	10,00	6,50	35,00 %	5,00	5,01	0,20 %	50,00	32,56	34,80 %

Una vez que se han realizado todas las pruebas tanto en la etapa de preinstalación como en la etapa de post-instalación de los equipos, se realiza un análisis del funcionamiento de todos los elementos del cargador, verificando que el margen de variación o error sea el menor posible.

En caso de que el margen de variación sea demasiado amplio, es necesario calibrar los equipos para reducir esta variación.

Los resultados presentados en las tablas anteriores de pruebas indican que el error es mínimo por lo cual se considera que el funcionamiento del dispositivo es óptimo para su normal operación.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La generación de energía eléctrica a partir de energías renovables, como lo es la energía solar resulta un gran aporte para la preservación del ambiente, considerando que la energía solar es una energía amigable que no contamina el ecosistema. En el caso del cargador eléctrico construido en ESFOT-EPN se estima que produzca energía eléctrica por un período de 20 años con un mantenimiento de rutina mínimo, evidenciando de esta manera que la energía renovable e ilimitada del sol se puede aprovechar de la mejor manera.

El sistema fotovoltaico autónomo descrito en el presente proyecto muestra tan sola una de las aplicaciones que se pueden implementar con energía solar; la Escuela Politécnica Nacional debe incentivar y apoyar a la generación de proyectos de la misma índole ya que como se ha observado en el presente estudio las ventajas de emplear esta energía van mucho más allá de las económicas; un sistema fotovoltaico se puede desarrollar en lugares de remoto acceso, además este tipo de energía es amigable con el ambiente ya que no contamina como en el caso de los combustibles fósiles y actualmente en Ecuador la energía solar es gratuita de tal forma que se puede generar electricidad con la radiación del sol sin que este insumo tenga algún costo..

Para implementar un dispositivo como el mostrado en el presente proyecto es fundamental e imprescindible estudiar a fondo todo lo que implica la transformación de energía solar en energía eléctrica así como los elementos de un sistema fotovoltaico aislado de la red, si bien es cierto el resultado final es la obtención de energía eléctrica, la cual es estudiada a detalle en varias materias, no todos los componentes del sistema funcionan como los estudiados a lo largo de la carrera, un claro ejemplo de ello es la batería de carga para sistema solar la cual funciona de forma totalmente distinta a una batería convencional.

La interacción del regulador de carga solar con el usuario es evidente e inevitable, se debe informar a quienes usen el cargador eléctrico acerca del funcionamiento de este equipo, de tal forma que si el indicador muestra que la batería no tiene suficiente energía no se puede conectar carga al dispositivo o por otro lado si el indicador muestra que la batería está cargada al máximo se puede conectar la máxima carga es decir cinco dispositivos electrónicos.

Debido principalmente a los recursos económicos limitados para la realización de este proyecto, algunos detalles del cargador eléctrico no se lograron desarrollar en su totalidad, tal es el caso del tablero de control el cual no cuenta con un sistema de ventilación automático óptimo y necesario para el sistema de acumulación, de igual forma el sistema de iluminación se encuentra conectado de forma permanente y sin ningún circuito temporizador o detector de luz.

Existen varias mejoras en el diseño que se deben implementar en el cargador eléctrico y que como ya se mencionó antes no fue posible desarrollarlas por motivos económicos, uno de los equipos más importantes por mejorar es el circuito de adaptación que para el proyecto se implementó con integrados 78S05, este circuito tiene un rendimiento del 50% por lo que es necesario sustituirlo por un conversor de voltaje dc/dc tipo Buck el cual alcanza un rendimiento de hasta el 95% y que en conjunto con los demás elementos del cargador aumentaría la eficiencia del sistema.

El concurso de diseño de la estructura, planteado en el plan para el presente proyecto es otro de los aspectos que no se llevó a cabo debido a las limitaciones económicas, Se dio una propuesta de diseño por parte de la empresa "Diseño y Publicidad" pero el costo de la estructura con ese diseño era 4 veces mayor al costo de la estructura finalmente fabricada y montada.

El diseño del proyecto prevé futuras ampliaciones razón por la cual algunos de los equipos se encuentran sobredimensionados, el panel solar instalado es de 100 vatios y se encuentra funcionando a la mitad de su potencia pico; el regulador de carga solar es de 20 amperios y se encuentra funcionando al igual que el panel solar a la mitad de su máxima capacidad; la estructura soporte diseñada está fabricada con tubo cuadrado de 2 pulgadas por 3 mm de grosor permitiendo de esta manera el montaje de un panel de 100 vatios adicional al que se encuentra conectado actualmente.

La conexión del USB tipo hembra para la carga de dispositivos electrónicos iPhones, es distinta a la conexión del USB tipo hembra para la carga de otras marcas de dispositivos electrónicos como Samsung, Huawei, Motorola; Microsoft, entre otras. En el caso del iPhone es necesario enviar una señal de voltaje a los pines de datos del USB, para el resto de los dispositivos es necesario únicamente alimentar con una señal de 5 voltios a los pines de carga del USB. Este detalle en los iPhones se pudo conocer en la etapa final del proyecto, cuando la estructura y todos los componentes del cargador estaban conectados, lo que dificultó finalmente resolver este problema.

5.2 Recomendaciones

Las prestaciones del cargador eléctrico a partir de energía solar construido en la ESFOT-EPN son limitadas esto se debe principalmente a los costos de los equipos que son elevados, se recomienda ampliar las prestaciones del dispositivo para de esta forma brindar un mayor aporte a la comunidad de la EPN. Para la ampliación del cargador eléctrico se podría incluir el inversor de red para cargas AC, elemento que no ha sido considerado para este estudio.

Para que el dispositivo construido funcione correctamente es necesario que se realicen operaciones de mantenimiento de rutina. El mantenimiento que se debe realizar debe ser técnico y de infraestructura. En el caso del mantenimiento técnico se debe realizar pruebas eléctricas a los equipos y pruebas a los elementos de protección del dispositivo además de la comprobación visual del estado de los conductores. Por otra parte, para el mantenimiento de la infraestructura se recomienda actividades de limpieza de todos los equipos.

El dispositivo se encuentra en la intemperie y como ya se ha mencionado anteriormente los equipos que lo conforman son muy costosos, razón por la cual se recomienda aplicar un protocolo de seguridad que garantice que los equipos no sean sustraídos ni sean manipulados por personas no autorizadas, todo esto con el fin de que el cargador eléctrico cumpla con los objetivos para los cuales fue construido.

El tablero de control donde se encuentran los elementos del cargador eléctrico está protegido con una IP45, protección que se debe tener en cuenta para futuras modificaciones y expansiones del proyecto. Todos los elementos, así como la estructura están sujetos con pernos, tuercas y arandelas, en el caso del tablero cuenta con arandelas de presión.

Los conductores que salen del tablero hasta las tomas USB se encuentran por dentro del tubo de la estructura, mientras que todo el resto de los conductores se encuentra emplazado en canaletas plásticas pegadas con cinta doble fase. Todas estas consideraciones con el objetivo de que a futuro se amplíen las prestaciones del proyecto y se facilite el desarrollo de estas modificaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] "Biblioteca Virtual Pro - Repositorio digital de información", Revistavirtualpro.com, 2017. [Online]. Available at: <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/la-energia-solar-y-su-importancia>. [Ultimo acceso: 16- Nov- 2017].
- [2] L. Solar, "Los 10 Países que más usan Energía Solar", Energías Renovables, 2017. [Online]. Available at: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2012/07/11/los-10-paises-mas-usan-energia-solar/>. [Ultimo acceso: 16- Nov- 2017].
- [3] D. INER, "Energía solar fotovoltaica en Ecuador", El Telégrafo, 2017. [Online]. Available at: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/punto-de-vista/1/energia-solar-fotovoltaica-en-ecuador>. [Ultimo acceso: 16- Nov- 2017].
- [4] "La energía solar se abre terreno en Ecuador". [Online]. Available at: <https://www.eluniverso.com/tendencias/2017/06/10/nota/6222868/energia-solar-se-abre-terreno-ecuador>. [Ultimo acceso 12- Jun- 2017].
- [5] El PNUD en Ecuador. (2017). Objetivo 7: Energía asequible y sostenible. [Online] Available at: <http://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/post-2015/sdg-overview/goal-7.html> [Ultimo acceso 12- Jun- 2017].
- [6] Imagen obtenida en: "Estado del arte y perspectivas de la tecnología CSP y de sistemas de almacenamiento en baterías", Hrudnick.sitios.ing.uc.cl, 2018. [Online]. Available at: http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno17/csp/Principios_funcionamiento.html. [Ultimo acceso: 22- Abr- 2018].
- [7] M. Ibáñez Plana, J. Rosell Polo and J. Rosell Urrutia, Tecnología solar. Madrid: Mundi-Prensa, 2011.
- [8] Información obtenida en J. Martín Jiménez, Energía solar fotovoltaica y energía eólica. Madrid: Madrid Vicente, 2014.
- [9] Imagen obtenida en: Repositorio.sena.edu.co, 2018. [Online]. Available: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/1851/1/unidad_28_fuerza_trabajo_potencia.pdf. [Accessed: 17- Aug- 2018]. [Ultimo acceso 16- Abr- 2018].
- [10] "Real Academia Española", RAE.es, 2018. [Online]. Available at: <http://www.rae.es/>. [Ultimo acceso: 24- Abr- 2018].
- [11] Imagen obtenida en: "Manual cálculo sistemas fotovoltaicos aislados - Parte I.", Sfe-solar.com, 2018. [Online]. Available at: <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>. [Ultimo acceso: 26- Abr- 2018].
- [12] J. Méndez Muniz and R. Cuervo García, *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: Fundación Confemetal, 2012.
- [13] M. Sánchez Maza, Energía solar fotovoltaica. México: Limusa, 2012.
- [14] Imagen obtenida en: "0_Presentación CURSOLAR", Ujaen.es, 2018. [Online]. Available at: https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generator/01_basico/4_gene_01.htm. [Ultimo acceso: 26- Abr- 2018].

- [15] "Batería de coche vs. Batería de ciclo profundo", Automotriz.mobi, 2018. [Online]. Available at: <http://www.automotriz.mobi/coches/car-maintenance/general-car-maintenance/125648.html>. [Ultimo acceso: 27- May- 2018].
- [16] Imagen obtenida en: "Partes interna de una batería - Global Energy Solar", Global Energy Solar, 2018. [Online]. Available at: <https://globalenergy.solar/about/baterias/partes-interna-de-una-bateria/>. [Ultimo acceso: 01- May- 2018].
- [17] Imagen obtenida en: Repository.unad.edu.co, 2018. [Online]. Available at: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/11834/1/10097742.pdf>. [Ultimo acceso: 17- Ago- 2018].
- [18] Imagen obtenida en: "Wuhan Wanpeng Factory Direct Cm2024z", www.alibaba.com, 2018. [Online]. Available at: https://www.alibaba.com/product-detail/Wuhan-wanpeng-factory-direct-cm2024z-cheap_60202498191.html. [Ultimo acceso: 07- May- 2018].
- [19] Imagen obtenida en: N. Carpio, "¿Qué es y qué hace un regulador de carga solar?", Monsolar, 2018. [Online]. Available at: <https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/>. [Ultimo acceso: 17- Ago 2018].
- [20] "Los distintos tipos de entrevista y sus características", Psicologiyamente.net, 2017. [Online]. Available at: <https://psicologiyamente.net/organizaciones/tipos-de-entrevista-trabajo-caracteristicas#!>. [Ultimo acceso: 01- Ago - 2017].
- [21] "Tipos de Tutorías", Blog del Diseño de la Instrucción, 2017. [Online]. Available at: <https://2-learn.net/director/tipos-de-tutorias/>. [Ultimo acceso: 01- Ago- 2017].
- [22] Imagen obtenida en: Biblioteca.olade.org, 2018. [Online]. Available at: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>. [Ultimo acceso: 17- Ago- 2018].
- [23] Calculadora conversor, las mejores calculadoras online, 2018. [Online]. Available at: <https://www.calculadoraconversor.com/tiempo-de-carga-de-bateria/>. [Ultimo acceso: 17- Ago- 2018].
- [24] Repositorio.sena.edu.co, 2018. [Online]. Available: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/1851/1/unidad_28_fuerza_trabajo_potencia.pdf. [Accessed: 17- Aug- 2018]. [Ultimo acceso 16- Abr- 2018].
- [25] "Energía Solar", Antusol.webcindario.com, 2018. [Online]. Available at: <http://antusol.webcindario.com/instalacion.html>. [Ultimo acceso: 28- May- 2018].
- [26] M. Gutiérrez, Manual de Instalación y mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos, 1st ed. 2002.
- [27] Sfe-solar.com, 2018. [Online]. Available at: https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields_Boletin_Fotovoltaica_Autonomas.pdf.

7. ANEXOS

Anexo 1. Cargador eléctrico armado en físico





Anexo 2. Infografía esquema eléctrico cargador eléctrico



Anexo 3. Infografía indicaciones de uso cargador eléctrico

INDICACIONES DE USO DEL CARGADOR ELÉCTRICO A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS ESFOT-EPN

1	Verifique estado del indicador de generación	Indicador Generación		Rojo encendido indica que se está cargando la batería Rojo titilando indica que la batería está totalmente cargada
2	Verifique estado del indicador de generación	Indicador Generación		Verde indica batería totalmente cargada Amarillo indica batería en la mitad de su capacidad Rojo indica batería con baja carga Rojo titilando batería sobredescargada
3	Verifique estado del indicador de carga	Indicador Carga		Verde encendido indica que se la carga se puede conectar normalmente Verde titilando indica que existe sobrecarga o cortocircuito en la carga
4	Conexión de dispositivos	Cuando conectar los dispositivos		Indicador de generación está encendido o titilando Indicador de capacidad de la batería se encuentra encendido verde o amarillo Indicador de carga está encendido
		Cuando no conectar los dispositivos		Indicador de capacidad de la batería se encuentra encendido rojo o rojo titilando Indicador de carga está titilando
5	Carga de dispositivos	Tomas USB ubicadas bajo banca		Luego de revisar el estado del cargador mediante los indicadores conecte el dispositivo electrónico en los conectores ubicados en la parte posterior de los asientos de la banca, el cargador dispone de 4 tomas o salidas para 4 dispositivos que funcionen a 5 voltios y hasta 2 amperios. En caso de que la carga sea de diferentes características el fusible de protección evitara daños en el sistema y se lo deberá sustituir

CARGADOR ELÉCTRICO A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS ESFOT-EPN

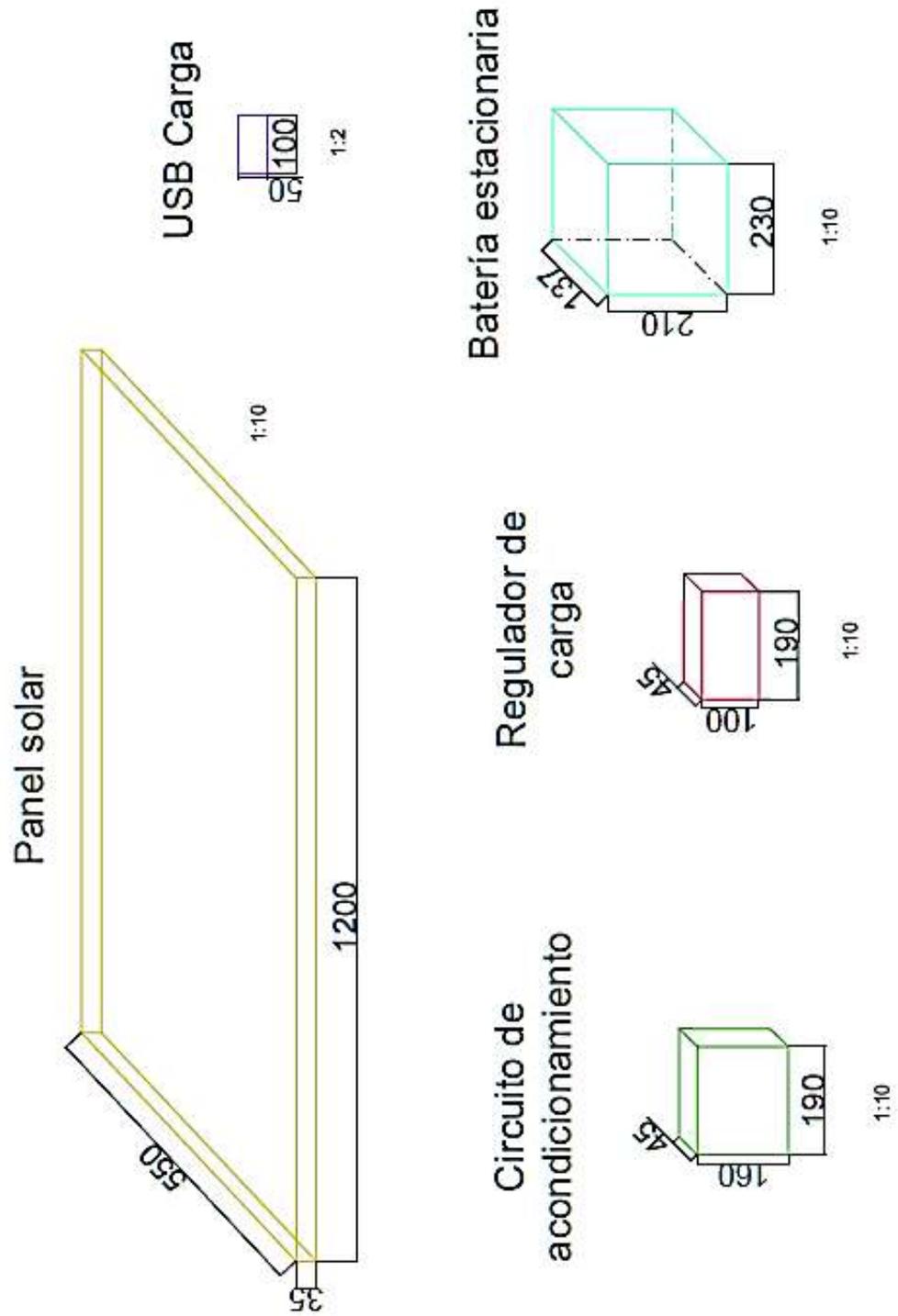
El "Cargador eléctrico a partir de energía solar para dispositivos electrónicos ESFOT-EPN", está a disposición de quienes conforman la comunidad politécnica: personal docente, administrativo, estudiantes, trabajadores, etc. que requieran de energía eléctrica para la carga de sus dispositivos electrónicos como celulares, tabletas, iPads, MP3, etc.

La energía solar que es el principal insumo del proyecto es renovable, gratuita y limpia, con lo cual el dispositivo se convierte en autosustentable y amigable con el ecosistema. Los componentes del dispositivo son: panel solar, batería estacionaria, regulador de carga solar, circuito de acondicionamiento y protecciones.

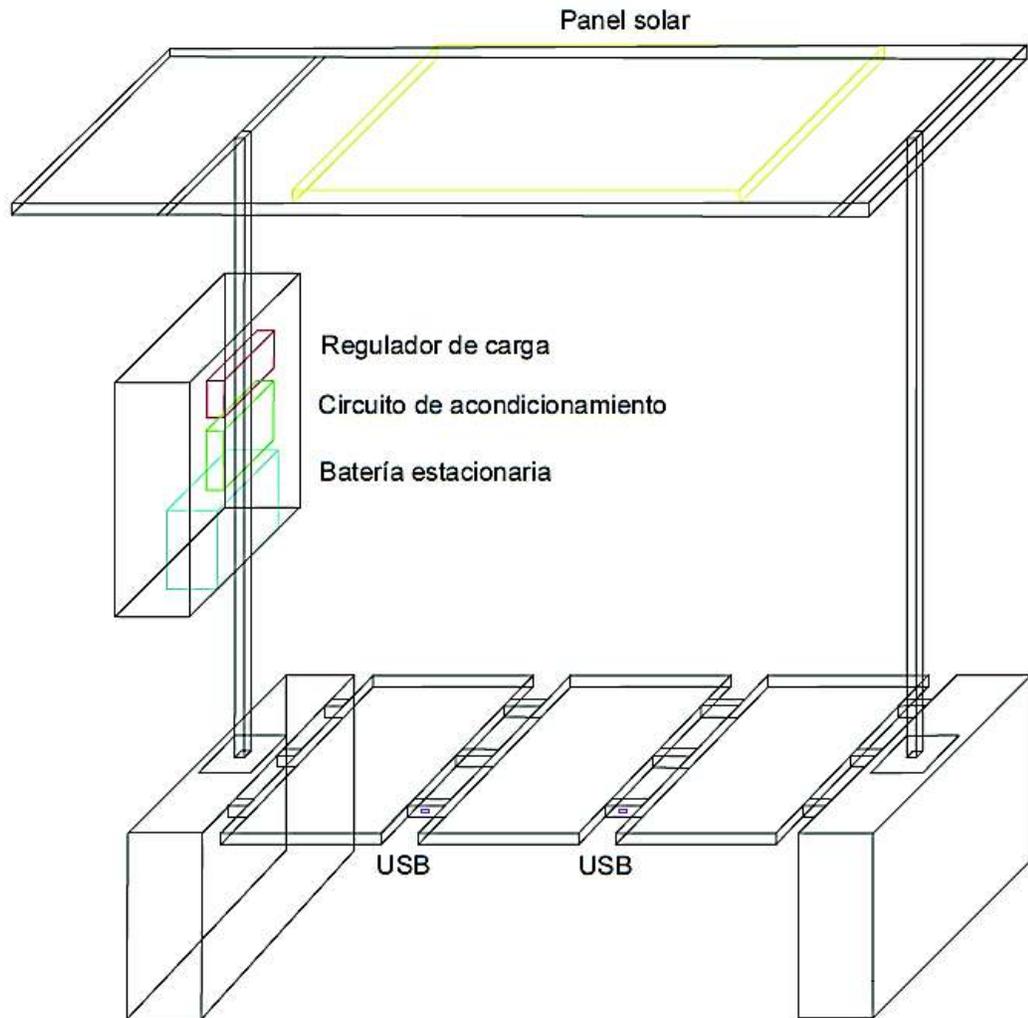
RECOMENDACIONES

- No introduzca ningún elemento extraño en las tomas usb.
- No retire las protecciones de caucho de las tomas usb.
- Lea las indicaciones de uso del cargador eléctrico antes de conectar su dispositivo.
- Asegúrese de llevar sus cables usb luego de cargar su dispositivo.
- Cuidar el cargador eléctrico depende de todos, contribuya con su cuidado y preservación.
- Si el cargador no funciona informe en la Dirección de la ESFOT para realizar su respectivo mantenimiento.

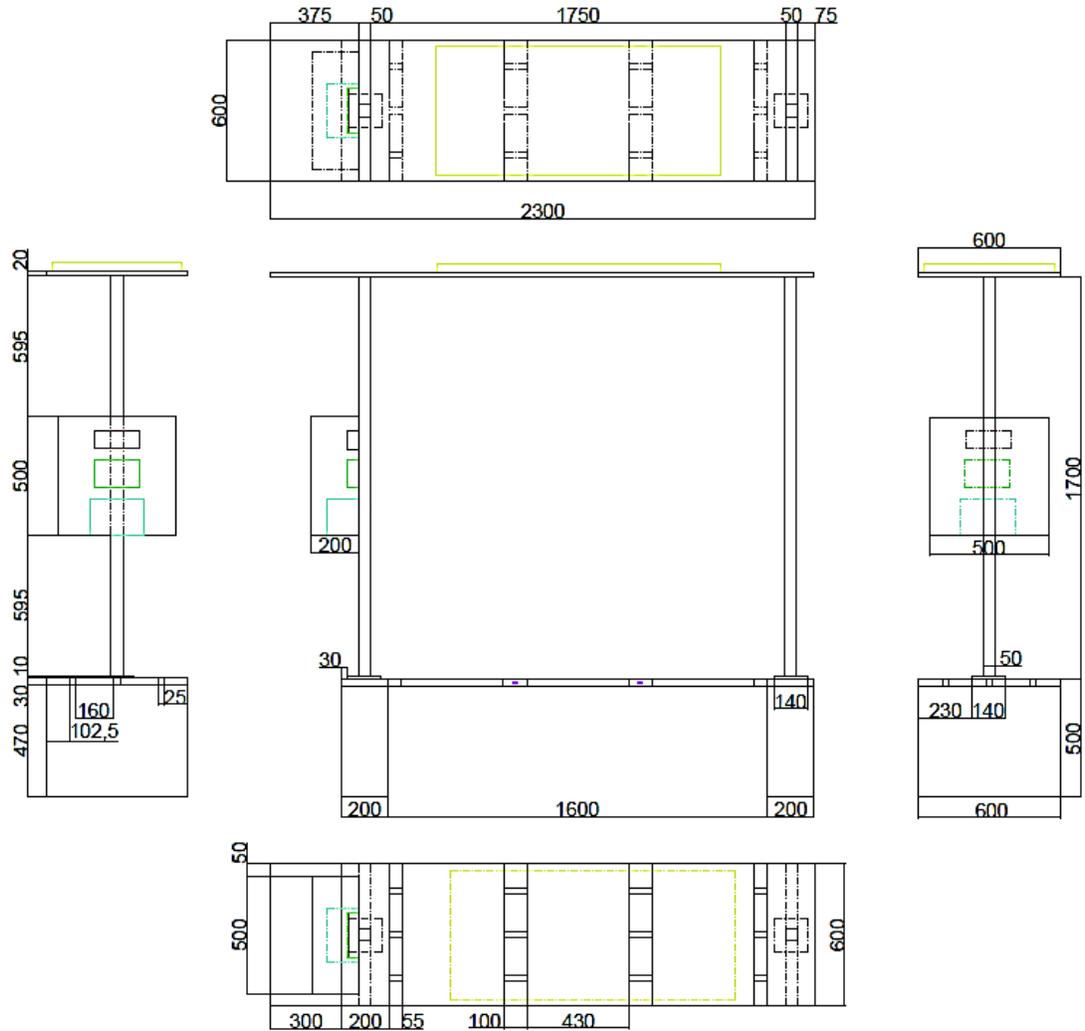
Anexo 4. Dimensiones de equipos cargador eléctrico
(Orientación horizontal)
(Medidas en milímetros)



Anexo 5. Plano de estructura soporte, banca y equipos

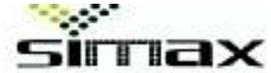


Anexo 6. Vistas y dimensiones de estructura soporte, banca y equipos
(Orientación horizontal)
(Medidas en milímetros)

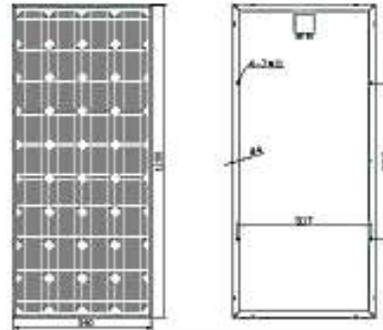


Anexo 7. Hoja técnica panel solar monocristalino SIMAX 100 W / 12 Vdc

TECHNICAL DATA SHEET SM536-90, SM536-95, SM536-100



Technical Data	
Type	SM536-90, SM536-95, SM536-100
Type of Solar Cell	Mono-crystalline, 125mm×125mm
Number of Cells	36 pcs
Size of module	1200×540×35mm (125×125mm cell)
Module Weight	8 kg
Connector / Cross-Section	Galvanne, TOP
Cables, Length (+/-)	Customizable
Front-Cover Glass	Safety Glass
Front-Cover Glass Thickness	3.2 mm
Frame	Anodized Aluminum



Electrical Data				
Maximum Power	P_{max}	90 W	95 W	100 W
Power Tolerance	ΔP_{mp}	+3%	+3%	+3%
Maximum Power Voltage	U_{mp}	17.4 V	17.6 V	17.0 V
Maximum Power Current	I_{mp}	4.89 A	5.11 A	5.28 A
Open Circuit Voltage	U_{oc}	21.6 V	21.8 V	22.2 V
Short Circuit Current	I_{sc}	5.25 A	5.51 A	5.79 A
Cell Efficiency	η_{cell}	15.9%	16.8%	17.6%
Maximum System Voltage	U_{sc}	700 V	700 V	700 V

Temperature Coefficients		
Power Coefficient	$\alpha_p (P_{max})$	-0.45 %/K
Voltage Coefficient	$\beta_p (U_{oc})$	-0.35 %/K
Current Coefficient	$\gamma_p (I_{sc})$	0.065 ± 0.015 %/K

Power Warranty	
10 years performance warranty to 96 %	
25 years performance warranty to 80 %	
10 years warranty against production and material defects	

Certifications	
IEC 61215, IEC 61730, TUV, CE, ISO9001:2000	

STC Irradiance 1000 W/m²; Spectrum AM 1.5; Cell Temperature 25°C; Wind 0 m/s

Simax(suzhou) Green New Energy Co.,Ltd Add:Beibangjiang Riverside, Suzhou Road, Taicang City, Jiangsu Province, China
Tel: +86-512-53378555 Fax: +86-512-53378556
Url: www.simaxsolar.com Email: info@simaxsolar.com jacky@simaxsolar.com



Anexo 8. Hoja técnica regulador de carga ZCM2012 20 A / 12 Vdc

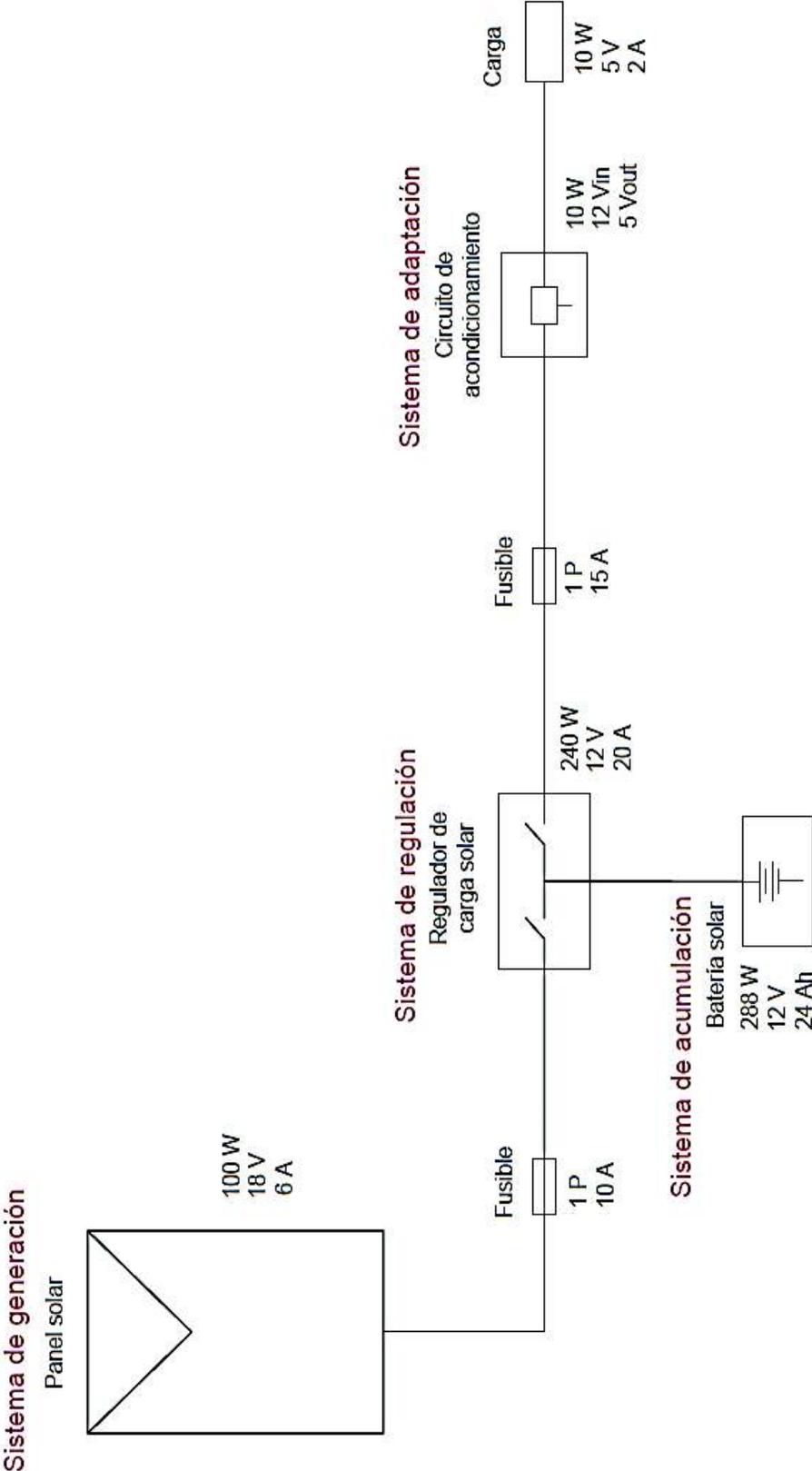
system voltage	12V/24V				No load loss	<13 mA
open circuit voltage	<50V				voltage drop of charging circuit	<0.2V
rated charging and discharging current	5A	10A	15A	20A	voltage drop of discharging circuit	<0.1V
elevated voltage	14.4V/28.8V				USB power	5V/1A MAX
float charging voltage	13.8V/27.6V				cable diameter	<6mm ²
low voltage disconnecting	11.2V/22.4V				installing size	Φ4mm—159mm*68mm
low voltage recovery	12.6V/25.2V				dimension	168mm*88mm*34mm
charging mode	PWM				storage temperature	-35°C — 70°C
output overload and short-circuit protection	output >20A and 60s or >29A and 15s overload protection or >10A short circuit				working temperature	-25°C — 60°C
					humidity requirement	≤90%
					weight	225g
Voltage tolerance is ±0.1V						

Anexo 9. Hoja técnica batería OT 24 Ah / 12 Vdc

Voltaje Nominal	12 V										
Resistencia Interna	10 mΩ										
Datos generales:											
Dimension (LxAxA) 	175x165x125 mm										
Peso	8.1 Kg										
Características bajo Descarga Constante de Corriente Amperios (25 °C)											
Voltaje Fijo (V) / Tiempo	0.08 hr	0.17 hr	0.25 hr	0.5 hr	1 hr	2 hr	3 hr	5 hr	8 hr	10 hr	20 hr
9.6 V	80.8	51.8	42.6	25	15.3	8.8	6.5	4.5	2.9	2.5	1.3
10.2 V	77.1	49.2	40.8	23.9	14.7	8.7	6.3	4.4	2.9	2.4	1.3
10.5 V	74.8	47.7	39.8	23.4	14.3	8.7	6.2	4.3	2.9	2.4	1.2
10.8 V	72.4	46.3	38.8	22.8	14	8.5	6.1	4.2	2.9	2.4	1.2
Características bajo Descarga Constante de Energía Vatios (25 °C)											
Voltaje Fijo (W) / Tiempo	0.08 hr	0.17 hr	0.25 hr	0.5 hr	1 hr	2 hr	3 hr	5 hr	8 hr	10 hr	20 hr
9.6 V	856.5	565.1	472.4	282.5	175.8	103.2	77.1	53.2	35.4	29.7	15.5
10.2 V	816.5	536.9	453.1	270.7	169.1	101.7	74.9	52.1	35.1	29.5	15.3
10.5 V	792	520.6	441.6	264.4	166.6	100.9	73.4	51.4	34.9	29.4	15.1
10.8 V	767.6	504.3	430.1	258.1	152	99.8	71.9	50.6	34.5	29.2	15

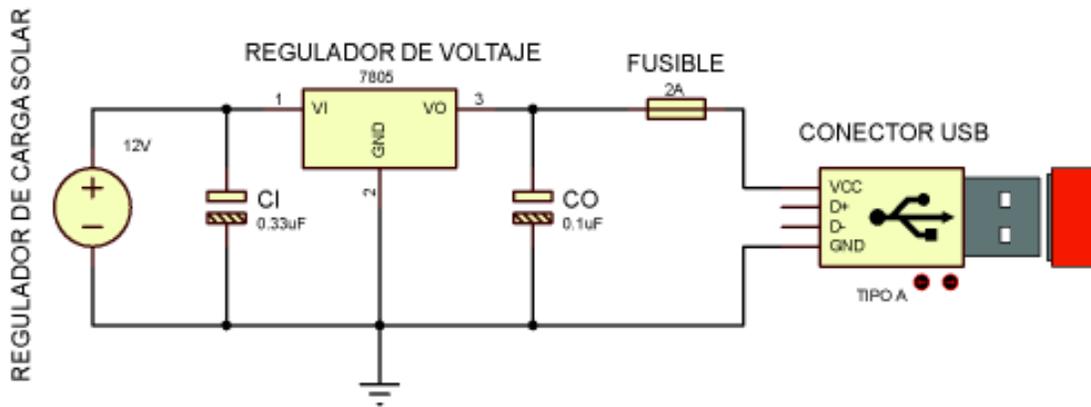
Anexo 10. Esquema eléctrico cargador eléctrico a partir de energía solar

(Orientación horizontal)



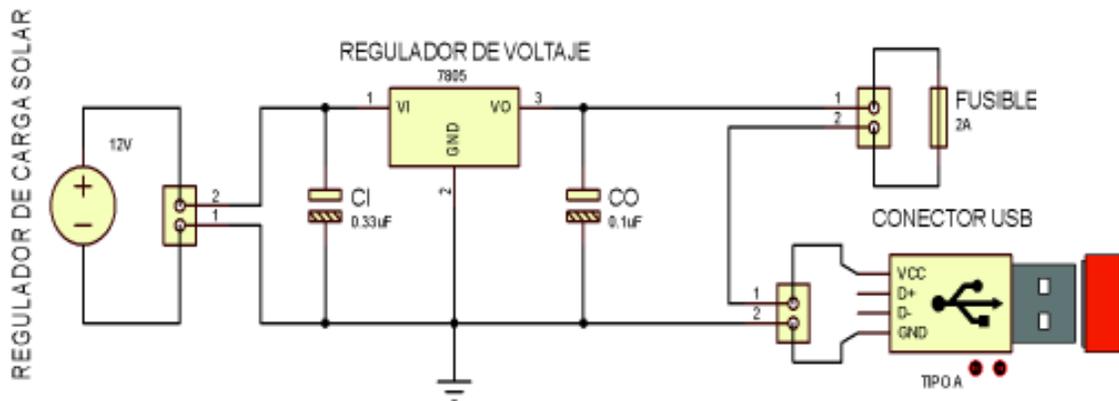
Anexo 11. Circuito de acondicionamiento de carga ideal sin conectores

CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO

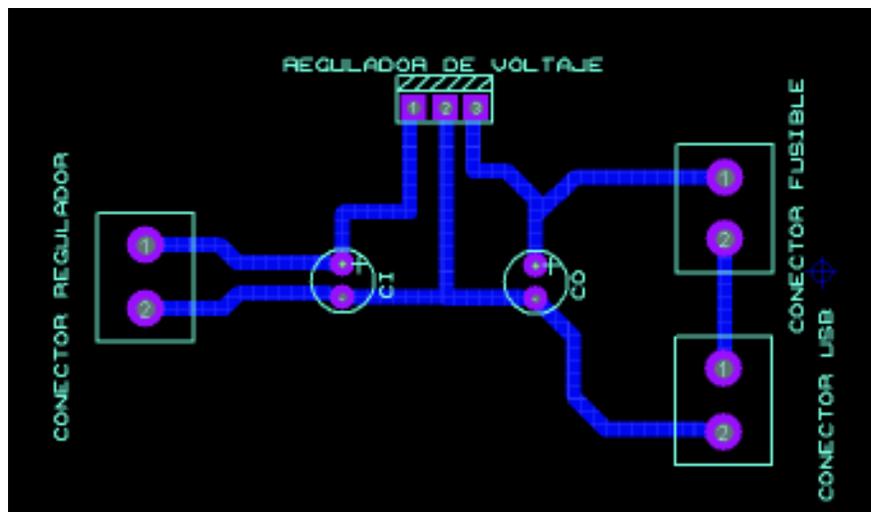


Anexo 12. Circuito de acondicionamiento de carga real con conectores

CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO



Anexo 13. Circuito de acondicionamiento PCB



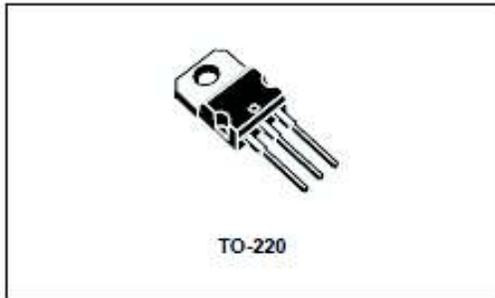
Anexo 14. Hoja técnica regulador de voltaje 78S05



L78S

2 A positive voltage regulator IC

Datasheet - production data



Description

The L78S series of three-terminal positive regulators is available in TO-220 package and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type embeds internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 2 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

Features

- Output current up to 2 A
- Output voltages of 5; 7.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24 V
- Thermal protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection

Electrical characteristics

Refer to the test circuits, $T_J = 25\text{ °C}$, $V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, unless otherwise specified.

Electrical characteristics of L78S05C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage		4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 7\text{ V}$	4.75	5	5.25	V
ΔV_O	Line regulation	$V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$			100	mV
		$V_I = 8\text{ to }25\text{ V}$			50	
ΔV_O	Load regulation	$I_O = 20\text{ mA to }1.5\text{ A}$			100	mV
		$I_O = 2\text{ A}$		80		
I_Q	Quiescent current				8	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$I_O = 20\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 20\text{ mA}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$, $T_J = 0\text{ °C to }70\text{ °C}$		-1.1		mV/°C
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		40		μV
SVR	Supply voltage rejection	$f = 120\text{ Hz}$	54 ⁽¹⁾			dB
V_I	Operating input voltage	$I_O \leq 1\text{ A}$	8			V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 27\text{ V}$		500		mA
I_{scp}	Short circuit peak current			3		A

1. Guaranteed by design.

Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_I	DC input voltage	for $V_O = 5$ to $18V$	35
		for $V_O = 24V$	40
I_O	Output current	Internally limited	
P_D	Power dissipation	Internally limited	
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to 150	$^{\circ}C$
T_{OP}	Operating junction temperature range	0 to 150	$^{\circ}C$

Note: Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Thermal data

Symbol	Parameter	TO-220	Unit
$R_{\theta JC}$	Thermal resistance junction-case	5	$^{\circ}C/W$
$R_{\theta JA}$	Thermal resistance junction-ambient	50	$^{\circ}C/W$

Application circuits

