



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

Diseño y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTORES: Morales Arciniega, Luis Eduardo

Quezada Patiño, Vicente Paúl

Riofrío Peña, Luis Alberto

DIRECTOR: Jaramillo Pacheco, Jorge Luis, Ing.

LOJA - ECUADOR

2013



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2013

CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

Jorge Luis Jaramillo Pacheco.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

C E R T I F I C A:

Que el presente trabajo, denominado: "Diseño y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping." realizado por los profesionales en formación: Morales Arciniega Luis Eduardo, Quezada Patiño Vicente Paúl, Riofrío Peña Luis Alberto; cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, agosto del 2013

f).

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Morales Arciniega Luis Eduardo declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autor Morales Arciniega Luis Eduardo

Cédula 1900468396

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Quezada Patiño Vicente Paúl declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autor Quezada Patiño Vicente Paúl

Cédula 1104737273

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Riofrío Peña Luis Alberto declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autor Riofrío Peña Luis Alberto

Cédula 1103724629

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, quienes han sido un apoyo incondicional ya sea en los buenos y malos momentos. Por saber que cuento con ellos bajo cualquier circunstancia. Mis mejores amigos.

A mis hermanos, Santiago y Andrés por ser al igual que mis padres, un pilar fundamental en mi vida.

A mi sobrino Sebastián, por todos los momentos llenos de felicidad desde que llegaste a nuestras vidas.

A todos mis familiares y amigos en general, por su motivación y apoyo para alcanzar esta meta muy importante.

Luis Eduardo

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por su infinito apoyo en todos los ámbitos de la vida. Gracias a ellos he logrado culminar esta etapa.

A mis tíos, primos y familiares cercanos quienes han sido un buen apoyo y compañía en este camino.

A mis compañeros y amigos con quienes en el día a día compartimos muchos momentos inolvidables.

Vicente Paúl

DEDICATORIA

A Dios, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante toda mi vida.

Padre y madre, quiero dedicar este logro profesional especialmente a ustedes, por haberme formado como persona de bien, con su ejemplo, sus valores y su amor infinito. El consejo sabio y oportuno, el incentivo permanente y espíritu de superación, pero más que nada, por su paciencia y confianza en mí.

Mis hermanas, Nena y Gaby, por estar conmigo y por su incondicional apoyo, las quiero mucho.

Mis sobrinos, Jorge Luis, Daniel Oswaldo y Nico, por hacerme feliz con sus ocurrencias todo el tiempo que estoy con ustedes.

Todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

Luis Alberto

AGRADECIMIENTO

Durante el transcurso de nuestras vidas son muchas las personas que llegaron a formar parte importante de nuestra formación tanto personal como académica. Los más importantes sin duda alguna, nuestros padres por inculcarnos valores y principios que nos han servido hasta hoy para cumplir nuestras metas. Gracias a ustedes por su constante apoyo para lograr esta meta tan importante.

A nuestros amigos, con los que hemos sobrellevado buenos y malos momentos. A ustedes por siempre estar incondicionalmente a nuestro lado, nuestro apoyo para no desmayar y salir adelante. Gracias por todo

Así mismo queremos extender nuestro agradecimiento a cada uno de los docentes de la UTPL que han sido parte de nuestra formación académica, principalmente al Ing. Jorge Luis Jaramillo por entregarnos su tiempo, empeño, infinita paciencia y dedicación para culminar este proyecto.

Y sobre todo a ti Dios, por guiarnos y ayudarnos a sobrellevar obstáculos que se presentaron durante el transcurso de nuestra vida pero principalmente, por haber puesto en nuestro camino a personas tan maravillosas que gracias a su compañía y consejos, estamos cumpliendo con un sueño.

¡Gracias gente!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	IV
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	V
DEDICATORIA.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
AGRADECIMIENTO	IX
ÍNDICE DE CONTENIDOS	X
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABLAS.....	XVI
RESUMEN EJECUTIVO.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	4
1. APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR EN APLICACIONES PORTABLES PARA CAMPING.....	5
1.1. <i>Introducción.....</i>	<i>5</i>
1.2. <i>Estado del arte en el aprovechamiento de la energía solar para provisión de aplicaciones portables para camping solares portables para camping existentes en el mercado.....</i>	<i>5</i>
1.2.1. <i>¿Por qué desarrollar aplicaciones portables de provisión de energía para actividades de camping?.....</i>	<i>5</i>
1.2.2. <i>Tecnología solar empleada en aplicaciones portables de provisión de energía para actividades de camping.....</i>	<i>6</i>
1.2.3. <i>Avances tecnológicos en tecnologías emergentes o de tercera generación.</i>	<i>7</i>
1.3. <i>Aplicaciones solares portables para camping existentes en el mercado.....</i>	<i>9</i>
1.3.1. <i>Wagan EL2546 Solar e Cube 1500.....</i>	<i>9</i>
1.3.2. <i>ECO1800S Solar Power Generator.....</i>	<i>10</i>
1.3.3. <i>Kit de Aventura 150 Escape.....</i>	<i>11</i>
1.3.4. <i>Kit Yeti 1250 Generador Solar.....</i>	<i>11</i>
1.3.5. <i>Kit Extreme 350.....</i>	<i>12</i>
1.3.6. <i>YETI 150.....</i>	<i>13</i>
CAPÍTULO II.....	15

2. PREDISEÑO DE UN EQUIPO PORTABLE PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR, ORIENTADO A APLICACIONES DE CAMPING	16
2.1. <i>Introducción.....</i>	16
2.2. <i>Prediseño del equipo.....</i>	16
2.2.1. <i>Modelo referencial seleccionado.....</i>	16
2.2.2. <i>Arquitectura propuesta para el equipo a diseñar.....</i>	18
2.2.3. <i>Pre dimensionamiento de los bloques del equipo.....</i>	19
2.2.3.1. <i>Sobre las láminas solares a utilizar.....</i>	19
2.2.3.2. <i>Sobre la carga a alimentar.....</i>	20
2.2.3.3. <i>Sobre el inversor a utilizar.....</i>	22
2.2.3.4. <i>Sobre la batería a utilizar.....</i>	22
2.2.3.5. <i>Sobre el controlador de carga.....</i>	24
2.2.3.6. <i>Sobre la ubicación de las láminas solares.....</i>	25
2.2.4. <i>Prediseño mecánico del equipo.....</i>	29
CAPÍTULO III	32
3. INGENIERÍA DE DETALLE Y FABRICACIÓN DE UN EQUIPO PORTABLE PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A APLICACIONES DE CAMPING, BASADO EN EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR	33
3.1. <i>Introducción.....</i>	33
3.2. <i>Selección final de componentes del equipo.....</i>	33
3.2.1. <i>Sobre el régimen extendido de funcionamiento del equipo.....</i>	33
3.2.2. <i>Sobre la batería.....</i>	33
3.2.3. <i>Sobre el inversor.....</i>	35
3.2.4. <i>Sobre el control de carga de la batería.....</i>	36
3.2.4.1. <i>Desde las láminas solares.....</i>	36
3.2.4.2. <i>Desde el cargador de pared.....</i>	37
3.3. <i>Esquemas finales del equipo.....</i>	38
3.3.1. <i>Arquitectura y diagrama de bloques del sistema.....</i>	38
3.3.2. <i>Esquema mecánico.....</i>	39
3.3.3. <i>Esquema eléctrico.....</i>	42
3.4. <i>Diseño de aditamentos especiales para el equipo.....</i>	42
3.5. <i>Fabricación del módulo central del equipo.....</i>	44
3.5.1. <i>Etapa 1: construcción del molde de malla.....</i>	45
3.5.2. <i>Etapa 2: colocación de la fibra de vidrio.....</i>	46
3.5.3. <i>Etapa 3: acabado del molde.....</i>	48
3.5.4. <i>Etapa 4: pintado del molde.....</i>	50

3.5.5. Etapa 5: instalación de componentes	51
3.6. Cálculo de la inversión realizada	54
CAPITULO IV.....	56
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA FASE DE PRUEBA DE UN SISTEMA PORTABLE DE PROVISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA APLICACIONES DE CAMPING, CON APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR.....	57
4.1. Introducción.....	57
4.2. Breve referencia sobre el cumplimiento de recomendaciones constructivas del sistema implementado	57
4.2.1. Sobre el índice de protección.	57
4.2.2. Sobre el peso.	57
4.2.3. Sobre prestaciones operativas del sistema.....	58
4.3. Pruebas para analizar el desempeño del sistema implementado.....	60
4.3.1. Carga del sistema desde el cargador de pared.....	60
4.3.2. Carga del sistema desde la lámina solar	62
4.3.3. Consideraciones para el análisis de la naturaleza de la descarga del sistema al proveer de energía.	67
4.3.4. Descarga del sistema en la provisión de energía al almacén de dispositivos..	68
4.3.4.1. Escenario 1.	68
4.3.4.2. Escenario 2.	70
4.3.5. Descarga del sistema en la provisión de energía a un computador.	71
4.3.5.1. Escenario 1.	71
4.3.5.2. Escenario 2.	73
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS.....	80
ANEXOS.....	82
ANEXO A.....	83
ANEXO B.....	87

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1 Escenario de crecimientos de las tecnologías fotovoltaicas.	7
Fig. 1.2. Células solares flexibles en sustratos no convencionales.	8
Fig. 1.3. Versiones a pequeña escala de paneles fotovoltaicos en tres dimensiones.....	8
Fig. 1.4. Papel convertido en célula fotovoltaica	9
Fig. 1.5. Wagan EL2546 Solar e Cube 1500.....	9
Fig. 1.6. ECO1800S Solar Power Generator.....	10
Fig. 1.7. Kit 150 Escape.....	11
Fig. 1.8. Kit Yeti 1250.....	12
Fig. 1.9. Kit Extreme 350	13
Fig. 1.10. Kit Yeti150.....	13
Fig. 2.1. Kit Yeti150 de GoalZaero.....	17
Fig. 2.2. Arquitectura propuesta para la aplicación a diseñar.	18
Fig. 2.3. Diagrama de bloques del sistema..	19
Fig. 2.4. Panorámica de una lámina solar PowerFilm lista para su transporte.	20
Fig. 2.5. Diagrama eléctrico general del equipo.	25
Fig. 2.6. Simulación del acoplamiento de las láminas solares en carpas de acampar.....	25
Fig. 2.7. Instalación de verificación del desempeño de las láminas solares en la latitud de Loja.....	26
Fig. 2.8. Armado de la estructura del soporte de la lámina solar.....	27
Fig. 2.9. Estructura armada del soporte de la lámina solar.....	28
Fig. 2.10. Lámina solar desplegada sobre el soporte.....	28
Fig. 2.11. Facilidad para la regulación del ángulo de inclinación del soporte de la lámina solar.....	29
Fig. 2.12. Vista frontal de la estructura mecánica sugerida para el montaje del módulo.....	30
Fig. 2.13. Vista posterior de la estructura mecánica sugerida para el montaje del módulo...	30
Fig. 2.14. Ergonomía del equipo diseñado.....	31
Fig. 2.15. Interconexión de módulos para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía..	31
Fig. 3.1. Vista frontal de una batería tipo vision 6FM18-X 12V 18Ah.....	34
Fig. 3.2. Cobra CPI 480..	36
Fig. 3.3. Interface física del controlador Sunforce de 10A de carga.	37
Fig. 3.4. Cargador de pared genérico seleccionado para el proyecto.....	37
Fig. 3.5. Interface física del controlador de carga 7A.	38
Fig. 3.6. Arquitectura corregida del sistema..	38

Fig. 3.7. Diagrama corregido de bloques del sistema.....	39
Fig. 3.8. Modelo 3D de la geometría de la batería seleccionada.....	39
Fig. 3.9. Modelo 3D de la geometría del inversor seleccionado..	40
Fig. 3.10. Modelo 3D de la geometría del regulador de carga de 10A.....	40
Fig. 3.11. Vista frontal y geometría del módulo a construir.....	41
Fig. 3.12. Vista posterior del módulo a construir.	41
Fig. 3.13. Distribución de los componentes al interior del módulo.....	41
Fig. 3.14. Esquema eléctrico general corregido del equipo..	42
Fig. 3.15. Arreglo del set de componentes de la estructura de soporte de la lámina, para transporte.	43
Fig. 3.16. Geometría de la estructura de soporte de la lámina solar..	43
Fig. 3.17. Detalle de sujeción de la lámina solar a la estructura de soporte..	44
Fig. 3.18. Estructura para soporte de la lámina solar, construida en aluminio.....	44
Fig. 3.19. Molde de malla de alambre.....	45
Fig. 3.20. Anillo de lámina metálica negra, para reforzar el molde.....	45
Fig. 3.21. Colocación de la fibra de vidrio en el interior del molde.....	46
Fig. 3.22. Preparación de resina, catalizador, y, acelerante.....	46
Fig. 3.23. Aplicación de la mezcla sobre la fibra..	47
Fig. 3.24. Colocación de la fibra de vidrio en el exterior del molde.....	47
Fig. 3.25. Aplicación de la mezcla sobre la fibra en el exterior del molde.....	48
Fig. 3.26. Lijado del molde.....	48
Fig. 3.27. Lijado del molde. Cara posterior.....	49
Fig. 3.28. Ubicación de prueba de los componentes en la vista frontal..	49
Fig. 3.29. Ubicación de prueba de los componentes en la vista interior.....	50
Fig. 3.30. Masillado del molde. Cara posterior.	50
Fig. 3.31. Aplicación del fondo en el molde.....	51
Fig. 3.32. Molde pintado y con autoforce en sus bordes..	51
Fig. 3.33. Empaque de caucho aplicado en la tapa del equipo..	52
Fig. 3.34. Ubicación de la batería y del cargador de pared..	52
Fig. 3.35. Módulo principal del equipo solar, vista isométrica.....	53
Fig. 3.36. Módulo principal del equipo solar. Cara frontal, con etiquetas.....	53
Fig. 3.37. Módulo principal del equipo solar. Cara posterior, con etiquetas.....	54
Fig. 4.1. Panorámica del sistema implementado en condiciones de total despliegue.....	59
Fig. 4.2. Proceso de carga del sistema desde el cargador de pared.....	62
Fig. 4.3. Proceso de carga del sistema desde la lámina solar.....	66
Fig. 4.4. Proceso de descarga del sistema alimentando lámparas o radio.....	69
Fig. 4.5. Proceso de descarga del sistema alimentando full carga.....	71

Fig. 4.6. Carga de un computador descargado, desde el sistema implementado.....	72
Fig. 4.7. Procesos de descarga del sistema y carga de un computador portátil inactiva..	73
Fig. 4.8. Rendimiento del computador durante la prueba.....	73
Fig. 4.9. Procesos de descarga del sistema y carga de un computador portátil activa.	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Características Wagan EL2546.....	10
Tabla 1.2 Características ECO1800S Solar Power Generator.	10
Tabla 1.3 Características Aventura 150 Escape.	11
Tabla 1.4 Características Kit Yeti 1250.	12
Tabla 1.5. Características Kit Extreme 350	13
Tabla 1.6 Características técnicas del kit Yeti150.	13
Tabla 1.7. Análisis comparativo de las principales características técnicas de las aplicaciones para provisiones de energía, existentes en el mercado, basadas en el aprovechamiento de energía solar.....	14
Tabla 2.1: Características técnicas del kit Yeti150.	17
Tabla 2.2: Principales características técnicas de las láminas solares PowerFilm empleadas en este proyecto.	20
Tabla 2.3: Características de amperaje, voltaje, y, potencia requerida del almacén mínimo de dispositivos a alimentar.....	21
Tabla 2.4: Requerimiento diario de potencia del almacén mínimo de dispositivos a alimentar (Pd).....	21
Tabla 2.5: Inclinación requerida de los módulos PV en función de la latitud.	26
Tabla 2.6: Desempeño de la lámina en diferentes posiciones.....	27
Tabla 3.1: Principales características técnicas de baterías AGM existentes en el mercado local.	34
Tabla 3.2: Principales características técnicas de inversores disponibles en el mercado local.	35
Tabla 3.3: Inversión en la fabricación e implementación del equipo solar.	54
Tabla 4.1: Distribución del peso en el módulo principal del sistema implementado.....	58
Tabla 4.2: Comparativa entre las prestaciones del equipo comercial referencial y el sistema construido.....	59
Tabla 4.3: Carga del sistema desde el cargador de pared.	60
Tabla 4.4: Carga del sistema desde la lámina solar.....	62
Tabla 4.5: Requerimiento diario de energía del almacén de dispositivos a alimentar.....	67
Tabla 4.6: Requerimiento diario de energía de un computador.	67
Tabla 4.7: Proceso de descarga del sistema alimentando lámparas.....	68
Tabla 4.8: Proceso de descarga del sistema alimentando una radio.....	69
Tabla 4.9: Descarga sistema implementado en el escenario 2.	70

Tabla 4.10: Descarga del sistema al alimentar la carga de un computador portátil inactivo..72

Tabla 4.11: Descarga del sistema al alimentar la carga de un computador portátil activo.... 74

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo se presenta los resultados obtenidos en el prediseño, ingeniería de detalle, y, en la fabricación de un de un equipo portable para provisión de energía eléctrica a aplicaciones de camping, basado en el aprovechamiento de energía solar. En estas etapas del proyecto se incluyó el dimensionamiento, diseño, selección de componentes, fabricación del equipo, y, cálculo de inversión. También se presenta las pruebas realizadas, y el análisis de las mismas para evaluar el desempeño del módulo solar portable y así obtener las curvas características que lo definan.

Palabras claves— aprovechamiento de energía solar, equipos autónomos para provisión de energía, equipos portables, láminas solares, batería, inversor, controlador de carga, cargador de pared

ABSTRACT

In this paper we present the results obtained in the pre-design, detailed engineering, and in the manufacture of a portable equipment for electrical energy supply camping applications, based on the use of solar energy. In these stages of the project included sizing, design, selection of components, equipment manufacturing, and investment calculation. Also present tests, and analysis thereof to evaluate the performance of portable solar module and obtain the characteristic curves that define it.

Keywords-solar energy use, equipment autonomous energy supply, portable equipment, solar films, battery, inverter, charge controller, wall charger.

INTRODUCCIÓN

El avance y miniaturización constante de la tecnología, ha convertido a la energía en una posesión personal. Ahora es común portar algún tipo de dispositivo electrónico diseñado para ofrecer diversas prestaciones o servicios.

La portabilidad que los usuarios actuales exigen de los dispositivos y equipos electrónicos, plantea serios requerimientos de diseño en cuanto a capacidad de almacenamiento, peso, y, autonomía (en términos de disponibilidad y uso eficiente de energía). Se propone entonces que, los equipos electrónicos no sólo se alimenten de las redes eléctricas convencionales, sino que sean capaces de aprovechar la energía de otras fuentes como las renovables. En este contexto, el desafío más importante es el de diseñar y fabricar un equipo portable para provisión de energía a campistas, aprovechando la energía solar.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos en el prediseño, ingeniería de detalle, y, en la fabricación de un de un equipo portable para provisión de energía eléctrica a aplicaciones de camping, basado en el aprovechamiento de energía solar.

En el primer capítulo se describe el aprovechamiento de energía solar en aplicaciones portables para camping.

En el segundo capítulo se realiza el prediseño de un equipo portable para provisión de energía eléctrica basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping.

En el tercer capítulo se muestra la ingeniería de detalle y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica a aplicaciones de camping, basado en el aprovechamiento de energía solar.

En el cuarto capítulo se presenta las pruebas y análisis de resultados del sistema portable de provisión de energía eléctrica, con aprovechamiento de la energía solar.

CAPÍTULO I

1. Aprovechamiento de energía solar en aplicaciones portables para camping

1.1. Introducción.

El avance y miniaturización constante de la tecnología, ha convertido a la energía en una posesión personal. Ahora es común portar algún tipo de dispositivo electrónico diseñado para ofrecer diversas prestaciones o servicios.

La portabilidad que los usuarios actuales exigen de los dispositivos y equipos electrónicos, plantea serios requerimientos de diseño en cuanto a capacidad de almacenamiento, peso, y, autonomía (en términos de disponibilidad y uso eficiente de energía). Se propone entonces que, los equipos electrónicos no sólo se alimenten de las redes eléctricas convencionales, sino que sean capaces de aprovechar la energía de otras fuentes como las renovables [1].

Una de las energías renovables con grandes avances tecnológicos en su aprovechamiento, es la energía solar. La tecnología solar es cada vez más asequible, funcional, y, milimétrica [2].

En este trabajo, se describe el estado del arte del aprovechamiento de energía solar para provisión de energía a aplicaciones portables, especialmente para camping, objetivo final de este proyecto.

1.2. Estado del arte en el aprovechamiento de la energía solar para provisión de aplicaciones portables para camping solares portables para camping existentes en el mercado.

1.2.1. ¿Por qué desarrollar aplicaciones portables de provisión de energía para actividades de camping?

De acuerdo a [3] y [4], un grupo cada vez mayor de personas, la “generación C”, demuestra un alto grado de dependencia respecto a los dispositivos electrónicos, en búsqueda de un acceso permanente a información. La “generación C” se “conecta” en tiempo integral (siempre conectada), utilizando teléfonos móviles, tablets, ordenadores portátiles, y, otros dispositivos. En promedio, se trabaja y se come más rápido, y, se duerme menos.

En contraposición, la "cultura slow" es un movimiento cultural que propone la desaceleración del ritmo de vida. Se plantea encontrar el equilibrio entre las obligaciones y

la tranquilidad de gozar de la vida en familia. En este contexto, las actividades al aire libre y en contacto con la naturaleza, adquieren un papel relevante, sin dejar de lado la posibilidad de “conectarse con el mundo”.

Tanto los amantes de la conexión integral, como aquellos que prefieren la cultura slow, encuentran en el mercado varias aplicaciones tecnológicas para camping, que utilizan la energía solar. Se ha desarrollado mochilas solares, ventiladores solares, relojes solares, lámparas LED solares, linternas solares, cargadores solares portátiles, carpas solares, entre otros.

1.2.2. Tecnología solar empleada en aplicaciones portables de provisión de energía para actividades de camping.

Las células solares fotovoltaicas convierten la radiación solar en energía eléctrica, a través del efecto fotovoltaico. Si un material semiconductor es iluminado con un haz de luz de energía superior a su gap energético, los electrones situados en la banda de valencia adquieren la energía suficiente para saltar a la banda de conducción, generando pares de carga de signo opuesto (electrones - huecos). Para separar los portadores de carga fotoinducidos, y, generar un fotovoltaje, es necesario emplear contactos selectivos que dirijan los portadores en sentidos opuestos, para su posterior recolección en electrodos metálicos.

Las aplicaciones solares para la provisión de energía utilizan módulos fotovoltaicos, contruidos a partir de células solares, empleando 3 diferentes tecnologías: oblea de silicio cristalino, thin film, y, DSC.

La *tecnología de fabricación de módulos de oblea de silicio cristalino (c-Si)* domina el 95% del mercado actual. Los módulos tienen una eficiencia entre 12 y 17% [5].

En *la fabricación de módulos con tecnología de capa fina (thin film)*, las células solares se depositan directamente sobre un sustrato. Esta tecnología permite reducir el costo de fabricación, y, alcanza una buena estabilidad a largo plazo. Como material activo se utiliza silicio amorfo (13% de eficiencia), semiconductor policristalino CdTe (16,5%), y, semiconductor policristalino CIGS (19,5%) [5].

Las *tecnologías emergentes o de tercera generación* para la fabricación de módulos solares, representan una serie de propuestas que persiguen dos objetivos básicos: reducir el coste de fabricación (empleando rutas químicas de preparación que empleen materiales baratos), y, aumentar la eficiencia por encima del límite de 25% que afecta a las configuraciones tradicionales. Las células orgánicas, las células de colorante (dye-sensitized solar cell,

DSC), las células totalmente orgánicas, la tecnología termofotovoltaica, y, la utilización de estructuras de banda intermedia, se presentan como las opciones más prometedoras de este grupo.

El mercado fotovoltaico actual está dominado por la tecnología de oblea de silicio, pero se espera un crecimiento acelerado de las tecnologías de capa fina y de los conceptos emergentes. Para el 2030, se prevé que cada una de las tecnologías cubra un tercio del mercado (ver Fig. 1.1).

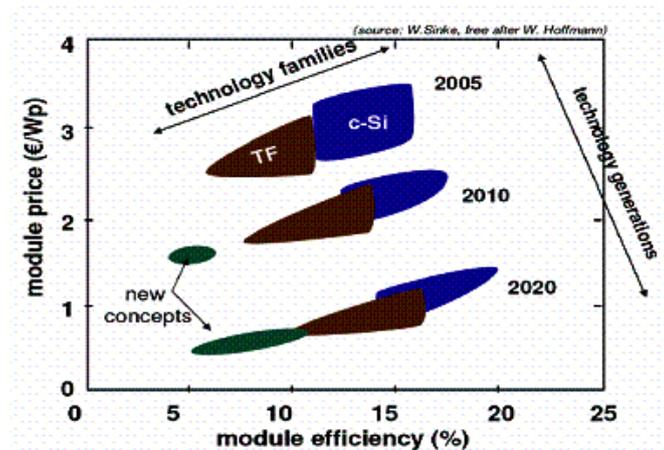


Fig. 1.1 Escenario de crecimientos de las tecnologías fotovoltaicas [5].

Los módulos solares tradicionales son fijos, rígidos, y, a menudo pesados, lo que limita sus aplicaciones. La utilización de paneles flexibles, “adheribles” a prácticamente cualquier superficie, ampliaría exponencialmente la aplicación de la tecnología solar. En este contexto, se prevé un rápido desarrollo de módulos solares basados en células orgánicas como DSC, que pueden ser flexibles, ligeros, y, tan duraderos como los dispositivos de estado sólido, una vez que se resuelvan los problemas de eficiencia y estabilidad, que son los principales obstáculos actuales en la comercialización de este tipo de módulos [5].

1.2.3. Avances tecnológicos en tecnologías emergentes o de tercera generación.

En Stanford se logró adherir células solares flexibles a diversos tipos de sustratos, lo que podría tener fuertes repercusiones en electrónica (circuitos impresos, transistores de lámina delgada o pantallas de cristal líquido) o en el desarrollo de ropa inteligente (ver Fig. 1.2) [6].

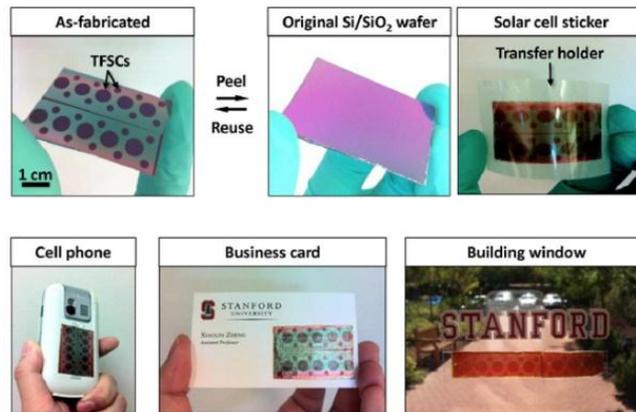


Fig. 1.2. Células solares flexibles en sustratos no convencionales [6].

En el MIT, se diseñó células solares fotovoltaicas con configuraciones tridimensionales. Este desarrollo permite producir el doble de energía por área, con respecto a las células solares convencionales. La potencia de salida podría ser 20 veces mayor que la obtenida con los paneles actualmente existentes (ver Fig. 1.3) [7].

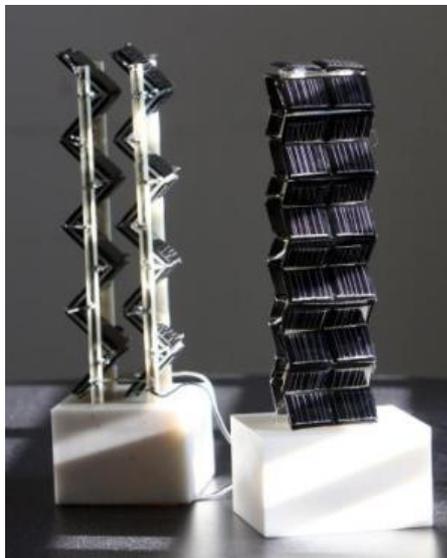


Fig. 1.3. Versiones a pequeña escala de paneles fotovoltaicos en tres dimensiones [7].

Otro logro del MIT, está relacionado a la impresión de células fotovoltaicas en hojas de papel. La tinta empleada en este proceso, transforma el papel convencional en generador de electricidad (ver Fig. 1.4) [8].

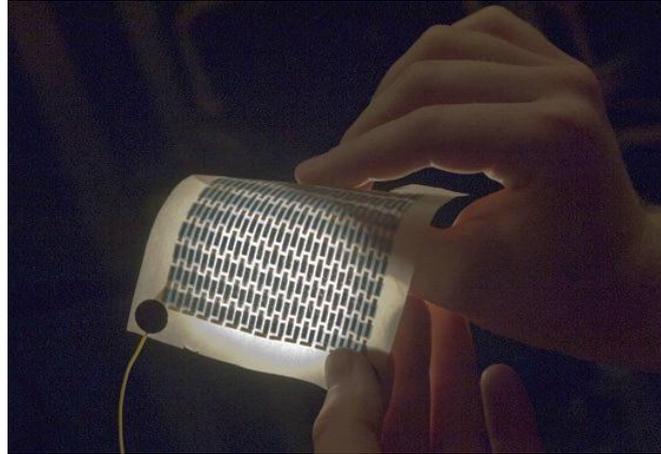


Fig. 1.4. Papel convertido en célula fotovoltaica [8].

1.3. Aplicaciones solares portables para camping existentes en el mercado.

En el mercado actual, se ofertan diversas aplicaciones solares portables capaces de proveer de energía eléctrica en diversas situaciones, que emplean módulos solares rígidos o flexibles. Estas aplicaciones actúan como fuentes de energía en corriente directa o alterna.

1.3.1. Wagan EL2546 Solar e Cube 1500.

Fabricado por la empresa Wagan, el equipo está diseñado para proporcionar energía eléctrica en situación de emergencia (ver Fig. 1.5). Las características principales del equipo se muestran en la Tabla 1.1 [9].



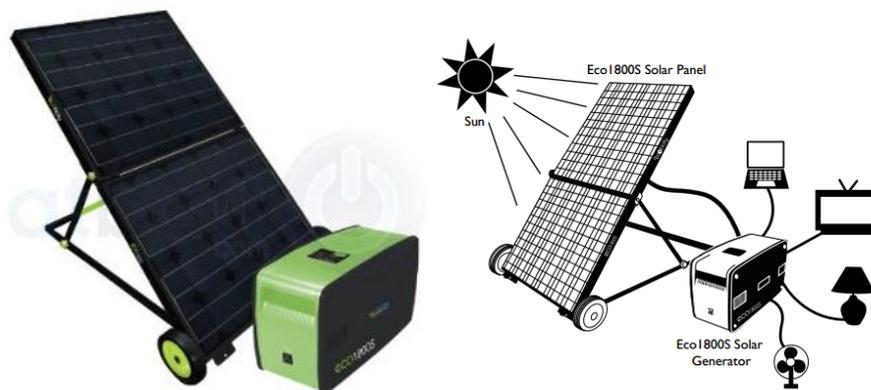
Fig. 1.5. Wagan EL2546 Solar e Cube 1500 [9].

Tabla 1.1 Características Wagan EL2546 [9].

Potencia panel	5 x 16W , 80W
Voltaje de salida	110/220V ; 5V ; 12V
Potencia de salida	1500 W
Corriente de salida	12V/15A ; 110V/5A
Capacidad de la batería	55 Ah
Tamaño	37 x 53 x 53 cm
Peso	38,2 Kg

1.3.2. ECO1800S Solar Power Generator.

El generador ECO1800S es fabricado por la empresa Ecotricity. El equipo provee de energía eléctrica en el hogar como en salidas de camping (ver Fig. 1.6). Las características principales del equipo se resumen en la Tabla 1.2 [10].

**Fig. 1.6.** ECO1800S Solar Power Generator [10].**Tabla 1.2** Características ECO1800S Solar Power Generator [10].

Potencia panel	90 W
Voltaje de salida	110V ; 12V
Potencia de salida	1800 W
Corriente de salida	110V/15A ; 12V/5A
Capacidad de la batería	60 Ah
Tamaño	48.9 x 21 x 28.6 cm
Peso	42.2 Kg

1.3.3. *Kit de Aventura 150 Escape.*

El Kit de aventura 150 Escape es fabricado por la empresa Goalzero. El equipo provee de energía eléctrica en formato DC a dispositivos de bajo consumo (ver Fig. 1.7). Las características principales del equipo se muestran en la Tabla 1.3 [11].



Fig. 1.7. Kit 150 Escape [11].

Tabla 1.3 Características Aventura 150 Escape. [11]

Potencia del panel	15 W
Voltaje de salida	110V ; 5V ; 12V
Corriente de salida	12V/10A ; 5V/0.5A
Capacidad de la batería	14Ah
Tamaño	14 x 14 x 39 cm
Peso	5.9 kg

1.3.4. *Kit Yeti 1250 Generador Solar.*

También fabricado por Goalzero, el kit Yeti 1250 provee de energía a dispositivos de alto consumo, gracias a la capacidad de su batería. Puede ser utilizado en situaciones de emergencia, en el hogar, o, en una salida de camping (ver Fig. 1.8). Las características más importantes se resumen en la Tabla 1.4 [12].



Fig. 1.8. Kit Yeti 1250 [12].

Tabla 1.4 Características Kit Yeti 1250. [12]

Potencia panel	30 W
Voltaje de salida	110/220V ; 5V ; 12V
Corriente de salida	12V/30A ; 5V/1.5A
Capacidad de la batería	100Ah
Tamaño	410 x 305 x 370 cm
Peso	48 kg

1.3.5. Kit Extreme 350.

El Kit Extreme 350 de Goalzero, está diseñado para campamentos, cabañas, y trabajos en lugares remotos sin abastecimiento de energía eléctrica (ver Fig. 1.9). Las características más importantes se resumen en la Tabla 1.5 [13].



Fig. 1.9. Kit Extreme 350 [13].**Tabla 1.5.** Características Kit Extreme 350 [13].

Potencia panel	30 W
Voltaje de salida	110/220V ; 5V ; 12V
Corriente de salida	12V/10A ; 5V/0.5A
Capacidad de la batería	33Ah
Tamaño	23 x 25.4 x 7.6 cm
Peso	18.3 kg

1.3.6. YETI 150.

El Yeti 150 de Goalzero, provee de energía a dispositivos de consumo moderado (celulares, laptops, iluminación, GPS, entre otros). Las principales características del equipo se muestran en la Tabla 1.6 [14].

**Fig. 1.10.** Kit Yeti150 [14].**Tabla 1.6** Características técnicas del kit Yeti150 [14].

Potencia panel	30W
Voltaje de salida	110V/220V; 5V; 12V Puerto USB
Capacidad de la batería	14Ah
Tamaño	19.7x14.6x17.1 cm
Peso	8.3kg

1.3.7. Análisis comparativo de las aplicaciones existentes en el mercado.

Las aplicaciones portables referidas se diferencian por peso, tamaño, capacidad de la batería, y, potencia en el panel solar (ver Tabla 1.7).

Se muestra claramente una relación directa entre la capacidad de la batería (la potencia del equipo), y, el peso y tamaño de la aplicación. En este contexto, el desafío más importante al diseñar una aplicación propia será encontrar un equilibrio adecuado entre las tres variables, apuntando a la reducción del peso sin afectar la capacidad de almacenamiento.

Tabla 1.7. Análisis comparativo de las principales características técnicas de las aplicaciones para provisiones de energía, existentes en el mercado, basadas en el aprovechamiento de energía solar. Elaborado por los autores.

Dispositivo	Potencia en el panel (W)	Capacidad de la batería (Ah)	Tamaño (Cm)	Peso (Kg)	Precio * (USD)
Escape 150	15	14	14 x 14 x 39	7.4	279.95
Yeti 150	30	14	19.7 x 14.6 x 17.1	8.35	639.99
Extreme 350	30	33	23 x 25.4 x 7.6	18.3	847.73
ECO1800S	90	60	48.9 x 21 x 28.6	42.2	1595
Wagan EL2546 Solar	80	55	37 x 53 x 53	38.2	999.99
Yeti 1250	30	100	41.0 x 30.5 x 37.0	48	1799.95

* Precios referenciales en los Estados Unidos

CAPÍTULO II

2. Prediseño de un equipo portable para provisión de energía eléctrica basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping

2.1. Introducción.

En el capítulo anterior, se mostró que, en el mercado actual, las aplicaciones portables para provisión de energía en actividades de camping se diferencian por peso, tamaño, capacidad de la batería, y, potencia en el panel solar. Existe una relación directa entre la capacidad de la batería (la potencia del equipo) y el peso y tamaño de los equipos.

En este contexto, el desafío más importante al diseñar un equipo propio para provisión de energía a campistas, aprovechando la energía solar, será reducir el peso sin afectar la capacidad de almacenamiento. En este trabajo, se describe el proceso de prediseño del equipo requerido.

2.2. Prediseño del equipo.

En este apartado se seleccionó un modelo referencial para el diseño del equipo requerido, se aproximó el significado de los parámetros básicos más importantes, y se realizó la preselección de elementos. Estos resultados serán validados o corregidos en la fase de diseño definitivo.

2.2.1. Modelo referencial seleccionado.

En el marco de este proyecto, se decidió adoptar como modelo referencial para el diseño requerido, al equipo comercial Yeti150, fabricado por GoalZero (ver Fig. 2.1). La selección de este equipo se basó en los resultados del capítulo 1: el peso y volumen facilitan la portabilidad mientras que, la potencia de salida es suficiente para conectar dispositivos de consumo moderado (iluminación, radio, GPS, entre otros), con una aceptable autonomía de provisión.



Fig. 2.1. Kit Yeti150 de GoalZero [15].

El equipo ha sido diseñado para utilizarse en campamentos, cabañas, y, en trabajos remotos en regiones sin provisión de energía desde redes convencionales. El equipo se carga a través de paneles solares, o, directamente de una red convencional. El equipo entrega energía en AC a 110V, en DC a 12V, y, posee una salida USB [15]. Las características técnicas más importantes del equipo se resumen en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Características técnicas del kit Yeti150 [15].

Tipo de batería	Ácido plomo (AGM)
Capacidad de batería	150Wh (12V, 14Ah)
Puertos de entrada	Puerto de carga 15-29VDC, 5A máx.
Puertos de salida	Puerto universal AC 110V-220V
	Puerto USB 5V, 2A.
	Puerto 12V
Tiempo aproximado de carga	Enchufe de pared (4 horas)
	Panel solar NOMAD 13 (5 a 10 horas)
Peso	5.4 Kg
Dimensiones	0.197 x 0.146 x 0.171 m

2.2.2. Arquitectura propuesta para el equipo a diseñar.

Se propuso que el equipo a diseñar conste de 4 bloques: captura de energía solar a través de láminas solares, regulador de carga de la batería, storage, e, interface de usuario (ver Fig. 2.2).

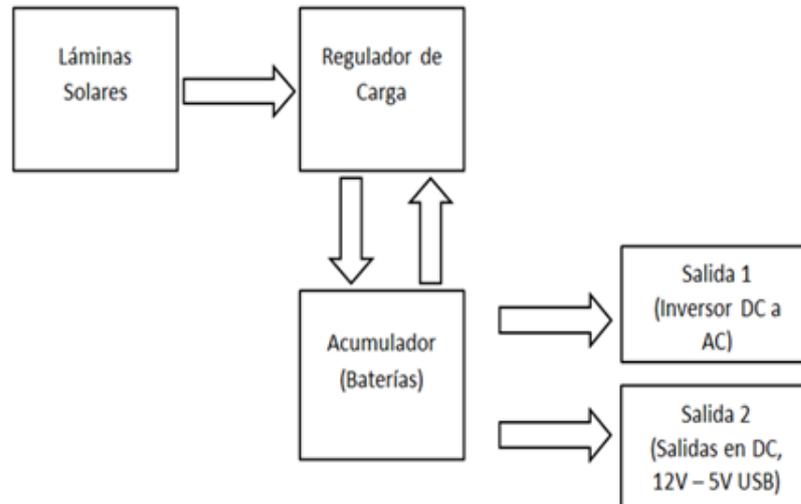


Fig. 2.2. Arquitectura propuesta para la aplicación a diseñar. Elaborado por los autores.

La energía solar se captura a través de láminas solares flexibles (livianas), con lo que se consigue mejorar la portabilidad de toda la aplicación. Un controlador gestiona la carga de la batería, ya sea desde las láminas solares o desde el cargador de pared. La energía capturada o provista por la red, se almacena en una batería. La interface de usuario, presenta dos módulos: entrega de energía y conectividad. En el módulo de entrega de energía, la interface de usuario proporciona 2 salidas de AC a 110V, un conector USB, y, 1 salida AD a 12V. La conversión AD en AC se logra en un inversor (ver Fig. 2.3). El módulo de conectividad contiene dos puertos para conexión de las láminas solares, un puerto de entrada para conexión a la red convencional, y, un puerto para ampliar la capacidad de la aplicación a través de la conexión de un segundo equipo.

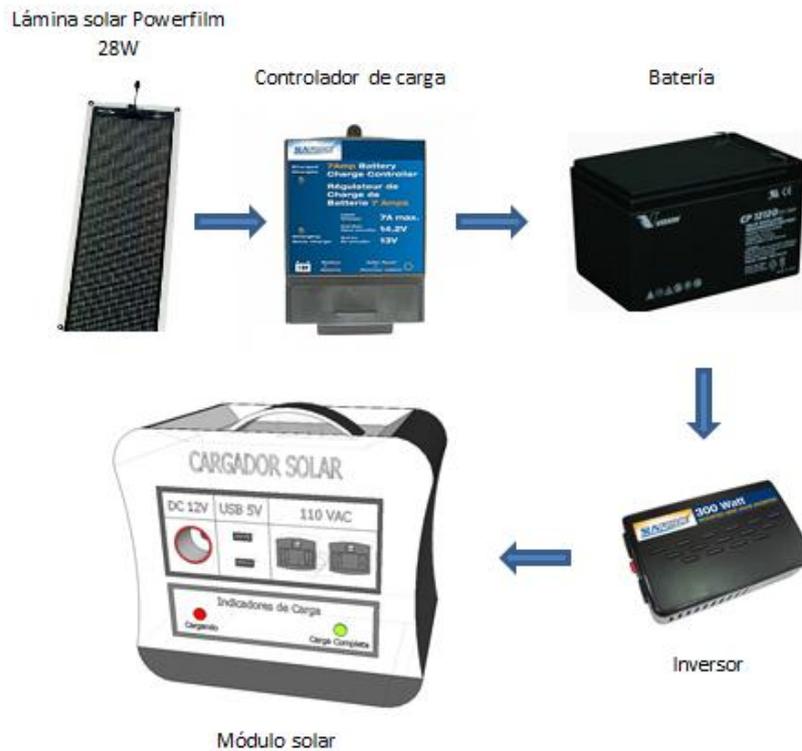


Fig. 2.3. Diagrama de bloques del sistema. Elaborado por los autores.

2.2.3. Pre dimensionamiento de los bloques del equipo.

2.2.3.1. Sobre las láminas solares a utilizar.

En este proyecto se decidió utilizar láminas solares fabricadas por PowerFilm, debido a su existencia entre los activos de la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL. A diferencia de los paneles convencionales, las láminas solares se doblan y son livianas, lo que mejora sustancialmente la portabilidad (ver Fig. 2.4) [16]. Las características técnicas más importantes de las láminas solares a utilizar, se resumen en la Tabla 2.2.



Fig. 2.4. Panorámica de una lámina solar PowerFilm lista para su transporte [16].

Tabla 2.2: Principales características técnicas de las láminas solares PowerFilm empleadas en este proyecto [16].

Modelo	Power Film 28 Watt Rollable Solar Charger
Voltaje de operación	15 V
Corriente de operación	1.8 A
Peso	0.816 Kg
Dimensión enrollado	36.83 cm
Dimensión abierto	36.83 cm x 202.5 cm

Las láminas solares disponibles se pueden conectar en paralelo o en serie. Considerando que las baterías comerciales operan comúnmente a 12V y 24V, se decidió montar el esquema eléctrico en 12V y conectar las láminas en paralelo, con lo que aumenta la corriente eléctrica disponible para la carga, y, se reduce el tiempo de carga.

2.2.3.2. *Sobre la carga a alimentar.*

Para dimensionar la carga a alimentar, se consideró 2 regímenes de trabajo del equipo: provisión a un almacén mínimo de dispositivos, y, provisión a un computador u otras cargas AC.

En el *régimen de provisión a un almacén mínimo*, se seleccionó un grupo de dispositivos de uso común en camping (u otras actividades) y de consumo de energía moderado: celular, lámpara LED, GPS, y, una radio. La Tabla 2.3 resume los valores típicos de voltaje y amperaje de los dispositivos seleccionados, mientras que la Tabla 2.4 muestra el requerimiento diario de potencia de todo el almacén.

Tabla 2.3: Características de amperaje, voltaje, y, potencia requerida del almacén mínimo de dispositivos a alimentar. Elaborado por los autores.

Dispositivo	I típica, mA	V típico, V	Consumo típico, W
Celular	700	5	3,5
Radio	350	9	3,15
Lámparas LED	840	12	10,08
GPS	350	5	1,75
TOTAL			16,50

Tabla 2.4: Requerimiento diario de potencia del almacén mínimo de dispositivos a alimentar (Pd). Elaborado por los autores.

Dispositivo	Unidades	Consumo, W	Uso diario estimado, h	Total energía requerida, Wh/día
Celular	1	3,5	1	3,50
Radio	1	3,15	10	31,50
Lámpara LED	2	10,08	8	80,64
GPS	1	1,75	1	1,75
TOTAL				117,39
más el 25% de reserva				146,73

El consumo diario de potencia del equipo (E_d), se calcula a través de la expresión (1), considerando las cargas conectadas y el rendimiento de los elementos del equipo. La bibliografía sugiere considerar una eficiencia del 95% para el regulador, y, del 90% para el inversor [17].

$$E_d = \frac{P_d}{\eta_{reg} \cdot \eta_{inv}} \quad (1)$$

En dónde,

E_d , es el consumo diario de potencia del equipo, Wh/día

P_d , es el requerimiento diario de potencia del almacén mínimo de dispositivos a alimentar, W/día

η_{reg} , es la eficiencia del regulador, %

η_{inv} , es la eficiencia del inversor, %

$$Ed = \frac{146.73}{0,95 * 0,9}$$

$$Ed = 171,61 \text{ Wh/día}$$

Este mismo consumo diario de energía, se espera para el *régimen de provisión de energía a un computador u otras cargas AC*. Se planteó que el equipo opera en uno de los regímenes a la vez.

2.2.3.3. *Sobre el inversor a utilizar.*

Para garantizar la operatividad del equipo en el régimen de provisión de energía a un computador u otras cargas AC, se requiere de un inversor. Para la selección del inversor, se considera que la potencia de salida sea al menos igual a la demanda total en AC, y, que el inversor opera en 110V [18]. La potencia de salida del inversor se calcula a través de la ecuación (2):

$$P_{inv} = \frac{Pd}{\text{Eficiencia del inversor}} \quad (2)$$

$$P_{inv} = \frac{146,73}{0,9}$$

$$P_{inv} = 163,03 \text{ Wh/día}$$

2.2.3.4. *Sobre la batería a utilizar.*

El dimensionamiento de la batería considera la capacidad de almacenamiento, la profundidad de descarga, la autonomía, y, la capacidad útil [18].

La capacidad de almacenamiento de la batería, se calcula con ayuda de (3):

$$C_{alm.bat} = \frac{Ed}{Vs} \quad (3)$$

En dónde,

$C_{alm.bat}$, es la capacidad de almacenamiento de la batería, Ah/día

Ed , es el consumo diario de potencia del equipo, Wh/día

Vs , es el voltaje de operación del sistema, V

$$C_{alm.bat} = \frac{171,61 \text{ Wh/día}}{12V}$$

$$C_{alm.bat} = 14,30 \text{ Ah/día}$$

De acuerdo a [17], la profundidad de descarga PD, es la carga eléctrica que puede ceder la batería en determinadas condiciones, y, que se expresa en un tanto por ciento de su capacidad. Las descargas excesivas reducen la vida útil de la batería, razón por la cual se limita la máxima profundidad de descarga PDmax. La bibliografía [17] sugiere una PDmax de 0,6 a 0,8 para acumuladores estacionales de alto volumen de electrolito; de 0,5 a 0,6 para acumuladores tipo monobloc; y, de 0,3 a 0,5 para baterías de automóvil.

De acuerdo a [17], se denomina autonomía A de la batería, al máximo número de días secuenciales en que, la instalación es capaz de satisfacer el consumo de electricidad en condiciones completamente desfavorables, es decir, a partir de la energía acumulada en la batería sin captura de energía en las láminas. Considerando la opción de recargar la batería desde una red convencional, se decidió que el equipo maneje una autonomía de 1 día. Conociendo la autonomía, se calcula la capacidad de la batería C_n a través de la expresión (4):

$$C_n = \frac{1,1 * Ed * A}{V * PD_{máx}} \quad (4)$$

En dónde,

C_n , es la capacidad de la batería, Ah

- Ed, es el consumo diario de potencia del equipo, Wh/día
- PDmax, es la profundidad máxima de descarga de la batería, %
- V, voltaje de operación de la batería, V

$$C_n = \frac{1,1 * 171,61 \text{ Wh/día} * 1}{12 * 0,8}$$

$$C_n = 19,66 \text{ Ah}$$

De acuerdo a [17], la capacidad útil C_u de la batería, es la capacidad utilizable en función de la profundidad de descarga máxima disponible. La capacidad útil de la batería se expresa en Ah, y, se calcula con ayuda de (5):

$$C_u = C_n * PD_{\text{máx}} \quad (5)$$

$$C_u = 19,66 * 0,8$$

$$C_u = 15,728 \text{ Ah}$$

2.2.3.5. Sobre el controlador de carga.

De acuerdo a [17], el controlador de carga se selecciona por la potencia máxima de las láminas solares. La potencia máxima del arreglo de láminas es de 56 W, a 15 V. Entonces, se requiere de un controlador que opere con corrientes mayores a 3,8 A.

La Fig. 2.5, muestra el esquema eléctrico general propuesto para el equipo.

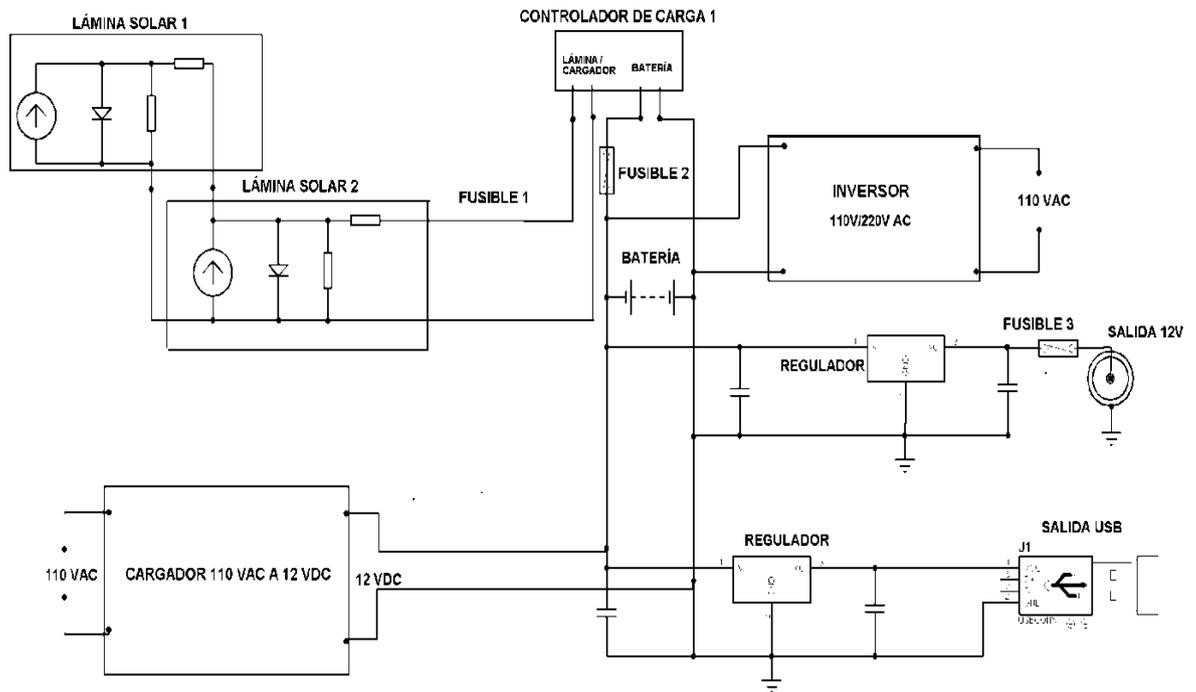


Fig. 2.5. Diagrama eléctrico general del equipo. Diseño de los autores

2.2.3.6. Sobre la ubicación de las láminas solares.

Utilizando los recursos del software Sketchup (ver Fig. 2.6), se simuló el posible acoplamiento de las láminas solares a una carpa de acampar, en 3 casos: lámina solar acoplada a la carpa con cierto ángulo (izquierda de la Fig. 2.7), lámina solar apoyada sobre la carpa (centro); y, lámina solar colocada de manera cóncava sobre la carpa (derecha).

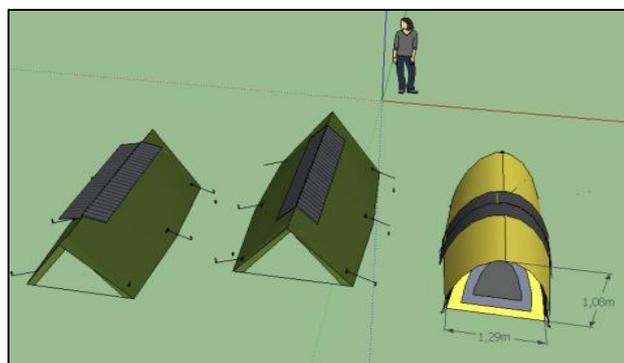


Fig. 2.6. Simulación del acoplamiento de las láminas solares en carpas de acampar. Diseño de los autores.

Para seleccionar la mejor ubicación posible, se revisó la bibliografía [19], y, se encontró la recomendación respecto a que las láminas solares instaladas en el hemisferio sur se orienten hacia el norte, y, que la inclinación de las láminas responda a la latitud (ver Tabla 2.5).

Tabla 2.5: Inclinación requerida de los módulos PV en función de la latitud [19].

Latitud	Ángulo invierno	Ángulo verano
0 al 5 grados	15 grados	15 grados
15 a 25 grados	Latitud	Latitud
20 a 25 grados	Latitud + 5 grados	Latitud – 5 grados
30 a 35 grados	Latitud + 10 grados	Latitud -10 grados
35 a 40 grados	Latitud + 15 grados	Latitud - 15 grados
más de 40 grados	Latitud + 20 grados	Latitud - 20 grados

Con la intención de verificar el desempeño de las láminas solares en la zona de Loja, se decidió medir el voltaje y la corriente de la lámina, en un clima despejado (ver Fig. 2.7). Los resultados obtenidos (ver Tabla 2.6) mostraron que el mejor desempeño de las láminas solares se registra en los 15° de inclinación. En base a esto, se decidió que la lámina solar debería ser desplegada sobre un soporte metálico desmontable y portable, que garantice la inclinación requerida.

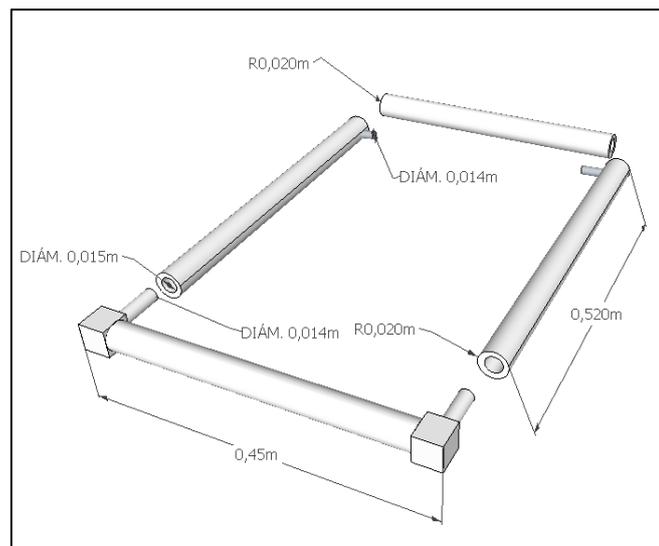


Fig. 2.7. Instalación de verificación del desempeño de las láminas solares en la latitud de Loja.
Fotografía de los autores.

Tabla 2.6: Desempeño de la lámina en diferentes posiciones.

Posición de la lámina solar	Voltaje, V	Amperaje, A
Horizontal	21,37	1,92
15° de inclinación	22,95	2,41
Cóncava	20,96	1,80

El soporte metálico para la lámina solar, será fabricado en tubo de aluminio. Se sugirió una estructura conformada por quince partes acoplables entre sí (ver Fig. 2.8, 2.9, y, 2.10). El ángulo de inclinación del soporte puede variar entre 0 a 16°, con una ángulo recomendable de 10° [20] (ver Fig. 2.11).

**Fig. 2.8.** Armado de la estructura del soporte de la lámina solar. Diseño de los autores.

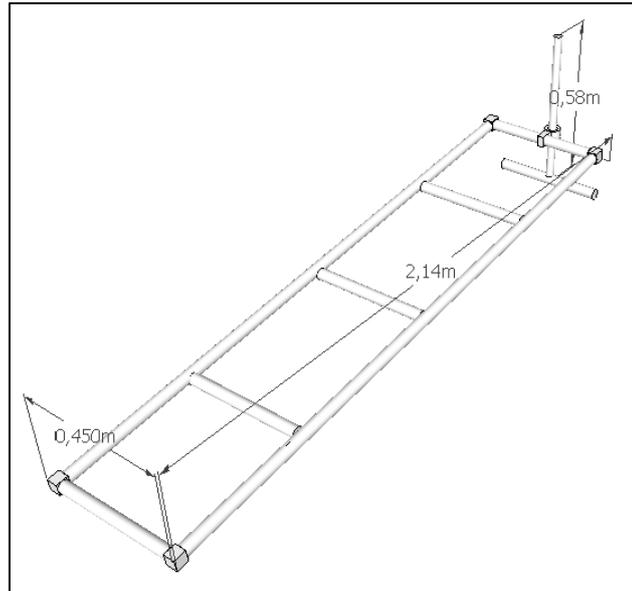


Fig. 2.9. Estructura armada del soporte de la lámina solar. Diseño de los autores.

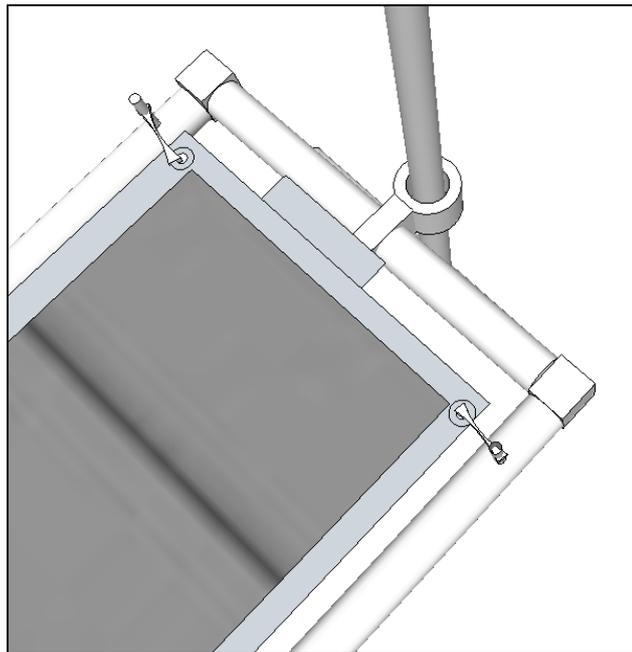


Fig. 2.10. Lámina solar desplegada sobre el soporte. Diseño de los autores.

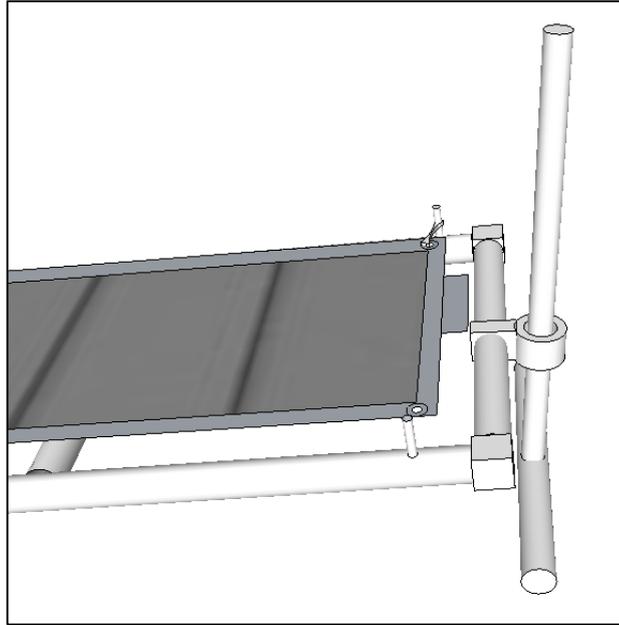


Fig. 2.11. Facilidad para la regulación del ángulo de inclinación del soporte de la lámina solar. Diseño de los autores.

2.2.4. Prediseño mecánico del equipo.

Por cuanto el equipo será utilizado para camping, este deberá ser capaz de soportar altos niveles de humedad, y, polvo. De acuerdo al estándar internacional IEC 60529, se decidió recomendar un índice de protección IP63 [21].

Por otra parte, el equipo deberá tener un montaje compacto, sólido, y, liviano. En este contexto, se decidió instalar los elementos del equipo en una estructura tipo caja, fabricada de fibra de vidrio, y, revestida en su interior con pintura batida de piedra para mayor resistencia mecánica. La caja se cerrará con una tapa, ajustada adecuadamente (ver Fig. 2.12, 2.13, y, 2.14).

En la parte frontal del módulo, se ubicarán los interruptores e indicadores de funcionamiento. Se prevé el uso de tapas protectoras para evitar el ingreso de agua o polvo.



Fig. 2.12. Vista frontal de la estructura mecánica sugerida para el montaje del módulo. Diseño de los autores.

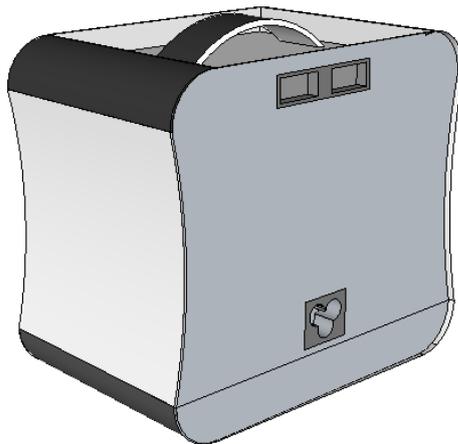


Fig. 2.13. Vista posterior de la estructura mecánica sugerida para el montaje del módulo. Diseño de los autores.

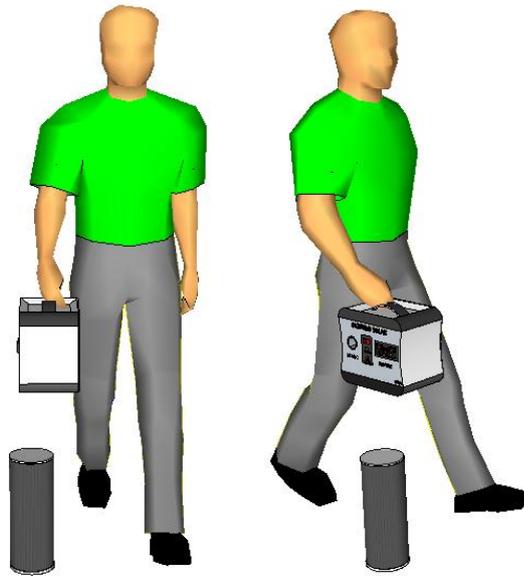


Fig. 2.14. Ergonomía del equipo diseñado. Diseño de los autores.

Con la intención de aumentar la capacidad de almacenamiento de energía del equipo, se decidió prever la conexión de diferentes módulos a través de los conectores desplegados en la parte posterior de la estructura (ver Fig. 2.13 y 2.15).



Fig. 2.15. Interconexión de módulos para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía.
Diseño de los autores.

CAPÍTULO III

3. Ingeniería de detalle y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica a aplicaciones de camping, basado en el aprovechamiento de energía solar

3.1. Introducción.

En un capítulo anterior se detalló el prediseño de un equipo portable para provisión de energía eléctrica a aplicaciones de camping, basado en el aprovechamiento de energía solar.

En este documento, se describe los cálculos de ingeniería de detalle, y, se detalla el proceso de construcción e implementación del equipo.

Todo el proceso se ha fundamentado en tres premisas: optimizar el rendimiento del sistema, mejorar los indicadores ergonómicos del equipo, y, afianzar la portabilidad del mismo.

3.2. Selección final de componentes del equipo.

3.2.1. *Sobre el régimen extendido de funcionamiento del equipo.*

En la etapa de prediseño, se decidió que todos los componentes electrónicos del equipo se ubicarían en un módulo único, cuya construcción se describe en este trabajo. A este módulo se llamará módulo principal.

Considerando que, en algún momento, el usuario podría requerir alimentar una mayor carga, se decidió ampliar la capacidad de provisión de energía, a través de la conexión al módulo principal de un segundo módulo, que contendrá una batería adicional. A este régimen de trabajo se lo denominará régimen extendido.

3.2.2. *Sobre la batería.*

Considerando la naturaleza de la carga a alimentar, en el prediseño se estableció que el equipo debería aportar 171,61Wh/día, que implica entregar 14,30 Ah/día a través de una batería de 12V.

Considerando que la autonomía del equipo será de 1 día, y, que la máxima profundidad de descarga será de 0,8, se determinó que se requiere de una batería de 19,66Ah de capacidad.

Al analizar la capacidad de algunas de las baterías existentes en el mercado, se decidió optar por una estándar de 18Ah. En función de la profundidad de descarga permitida, la capacidad útil de la batería sería de 14,4Ah, suficiente para cubrir los 14,3 Ah/día para los cual fue dimensionado el equipo.

Por otra parte, considerando la aplicación final del equipo (camping), la batería a seleccionarse debe ser libre de mantenimiento, y, con un ciclo de descarga muy profundo. En este contexto, se decidió utilizar baterías con tecnología AGM, que cumplen con las características requeridas [22], y, además son resistentes al clima frío, y, tienen la eficiencia más alta entre todas las baterías de plomo (95%).

La Tabla 3.1 muestra las características técnicas más importantes de 3 baterías AGM existentes en el mercado, y, que cumplen los requerimientos de voltaje y amperaje.

Tabla 3.1: Principales características técnicas de baterías AGM existentes en el mercado local [23], [24], [25].

Batería AGM	6FM18	SLA T3	LFX21L6-BS12
Capacidad (Ah)	18	20	21
Voltaje (V)	12	12	12
Peso (kg)	5,7	5,7	1,37
Dimensiones (cm)	18,1x7,7x16,7	7,15x3x6,59	14,8x8,2x14
Precio (USD)	68	200	240

Al momento de seleccionar la batería, en condiciones técnicas similares, los elementos discriminadores serán la relación peso/volumen y el costo. La selección final recayó en la batería visión 6FM18-X (ver Fig. 3.1).



Fig. 3.1. Vista frontal de una batería tipo vision 6FM18-X 12V 18Ah [25].

3.2.3. Sobre el inversor.

La selección final del inversor se basará en la premisa de que la potencia de salida del componente, debe corresponder a la demanda total en corriente alterna de la carga del equipo. En el prediseño se estableció que la demanda total AC de la carga, sería del orden de 163,03Wh/día.

Por cuanto en el régimen extendido de trabajo, se duplicará la capacidad de storage del equipo, se decidió optar por un inversor de potencia de salida, equivalente al doble de lo estimado (326,06W). La Tabla 3.2 describe las características técnicas más importantes de 3 inversores disponibles en el mercado, que cumplen con la potencia requerida.

Tabla 3.2: Principales características técnicas de inversores disponibles en el mercado local. [26], [27], [28]

Inversor	Wagan Inverter	CPI 480	PV375
Potencia (W)	400	400	375
Puertos de salida	2 puertos 110VAC	2 puertos 110VAC	2 puertos 110VAC
	2 puertos USB	1 puerto USB	-
Peso (kg)	0,65	0,45	1
Dimensiones (cm)	12,5x10x5	16x10,5x6,5	5.1x10.8x17.7
Precio (USD)	75	60	75

Se decidió emplear el inversor CPI 480 (ver Fig. 3.2), por su reducido peso y precio accesible. La hoja de datos técnicos del inversor, señala que la eficiencia del componente es del 83%, inferior al 90% previsto en la fase de prediseño. Sin embargo, se espera que este cambio no afecte el desempeño final del equipo.



Fig. 3.2. Cobra CPI 480. [28].

3.2.4. Sobre el control de carga de la batería.

En este proyecto, se ha previsto cargar la batería desde las láminas solares, o, desde un cargador de pared.

3.2.4.1. Desde las láminas solares.

La potencia máxima del arreglo de láminas será de 56W, operando en 15V, por lo que se ha proyectado el uso de un controlador capaz de soportar corrientes mayores a 3,73A.

En el modo extendido de funcionamiento del equipo, el controlador debería soportar al menos 10,2A (la corriente máxima admitida por la batería seleccionada es de 5,1A). Por otra parte, como estrategia para reducir el tiempo de carga de la batería se propuso prever la conexión a láminas o paneles fotovoltaicos de mayor capacidad, lo que aumentaría la corriente de carga de la batería, por lo que se requiere de un controlador de mayores prestaciones.

Al analizar los controladores de carga ofertados en el mercado, se detectó que la oferta coincide en prestaciones y costos, por lo que la selección final se basó en las características geométricas y en la interface física, de cara a acoplar el controlador al módulo. La selección recayó en el controlador Sunforce que soporta los 10A requeridos (Ver Fig. 3.3).

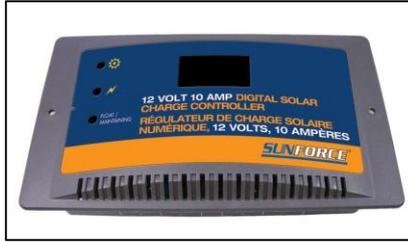


Fig. 3.3. Interface física del controlador Sunforce de 10A de carga. [29]

3.2.4.2. Desde el cargador de pared.

En el marco de este proyecto se propuso que el equipo también pueda ser cargado desde la red eléctrica pública, a través de un cargador de pared, utilizando un segundo controlador de carga a fin de aislar los subsistemas de carga del equipo.

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la batería seleccionada, la máxima corriente de carga soportada es de 5,1A, y, el voltaje de carga recomendado es de 14,4V [1]. Considerando que el controlador de carga consume entre el 5 y el 10% del voltaje de entrada, se decidió que el voltaje del cargador de pared sea mayor a 16V. Ya que en la bibliografía [30], se recomienda que el amperaje de carga de una batería sea aproximadamente el 10% de su capacidad total (1,8A en este caso), se seleccionó un cargador de pared genérico, de 19,5V de voltaje de carga y de 2A de corriente (Ver Fig. 3.4).



Fig. 3.4. Cargador de pared genérico seleccionado para el proyecto.

Para la selección del segundo controlador de carga, se consideró que este debía soportar la carga entregada por el cargador de pared (2A). Ante la dificultad de encontrar en el mercado un controlador de carga que se ajuste a los requerimientos planteados, se decidió

seleccionar un controlador de carga Sunforce de 7A, lo más cercano a lo requerido (ver Fig. 3.5).



Fig. 3.5. Interface física del controlador de carga 7A [31].

3.3. Esquemas finales del equipo.

3.3.1. Arquitectura y diagrama de bloques del sistema.

Como resultado de la selección final de componentes del sistema, en la arquitectura originalmente propuesta, se incluyó un controlador de carga para abastecer al sistema desde la red eléctrica pública, a fin de aislar los 2 subsistemas de carga, y, evitar que las corrientes de retorno provenientes del cargador de pared afecten a las láminas solares. La arquitectura corregida del sistema se muestra en las Fig. 3.6 y 3.7.

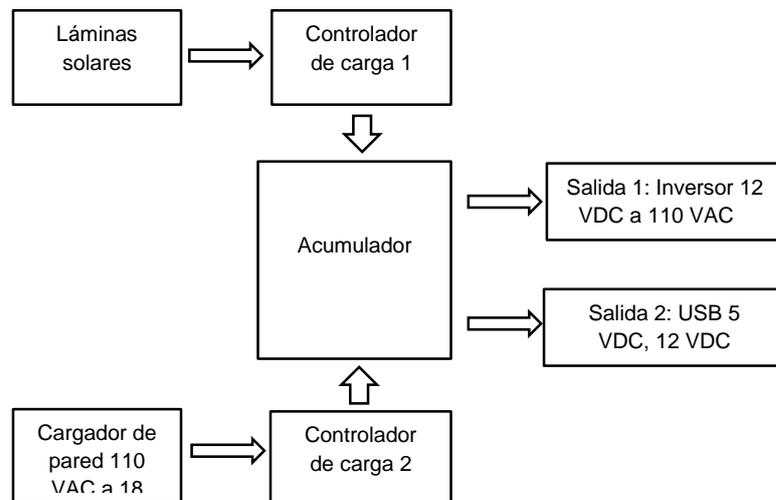


Fig. 3.6. Arquitectura corregida del sistema. Elaborado por los autores.



Fig. 3.7. Diagrama corregido de bloques del sistema. Elaborado por los autores.

3.3.2. Esquema mecánico.

Una vez realizada la selección final de componentes para el equipo, se decidió modificar el diseño mecánico del módulo para garantizar que cada uno de los elementos pudiera acomodarse sin problema en su interior (ver Fig. 3.8 a 3.13).

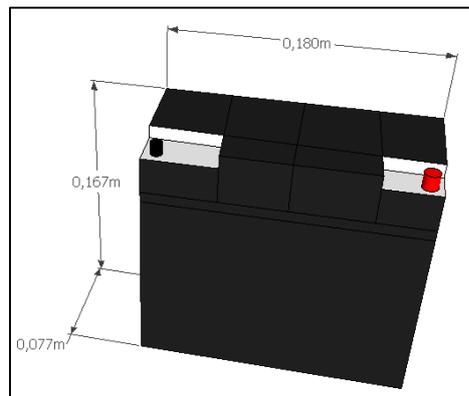


Fig. 3.8. Modelo 3D de la geometría de la batería seleccionada. Elaborado por los autores.

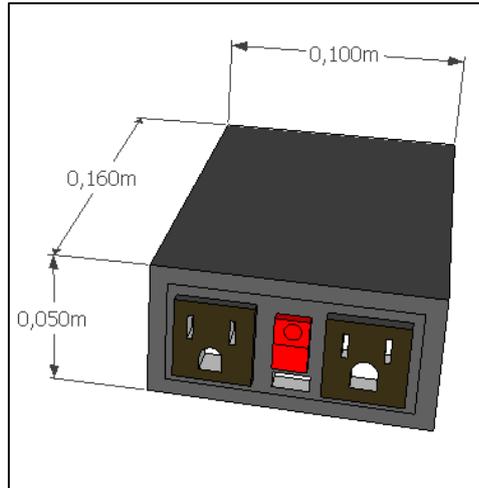


Fig. 3.9. Modelo 3D de la geometría del inversor seleccionado. Elaborado por los autores.

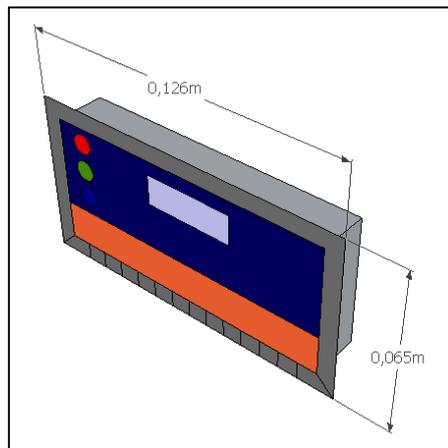


Fig. 3.10. Modelo 3D de la geometría del regulador de carga de 10A. Elaborado por los autores.



Fig. 3.11. Vista frontal y geometría del módulo a construir. Elaborado por los autores.

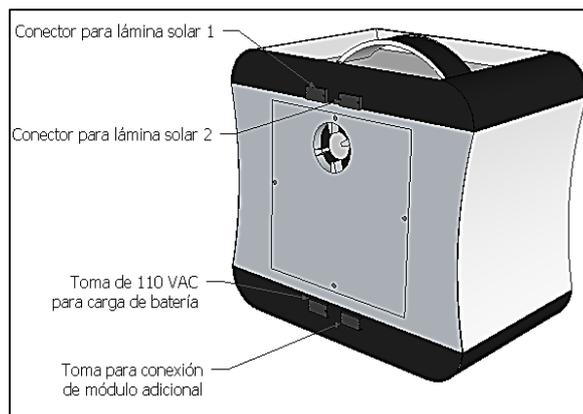


Fig. 3.12. Vista posterior del módulo a construir. Elaborado por los autores.

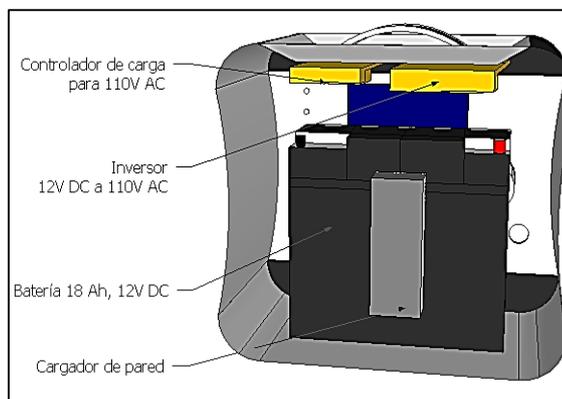


Fig. 3.13. Distribución de los componentes al interior del módulo. Elaborado por los autores.

3.3.3. Esquema eléctrico.

La Fig. 3.14 muestra el esquema eléctrico general, con todas las modificaciones realizadas respecto a la propuesta elaborada en la etapa de prediseño.

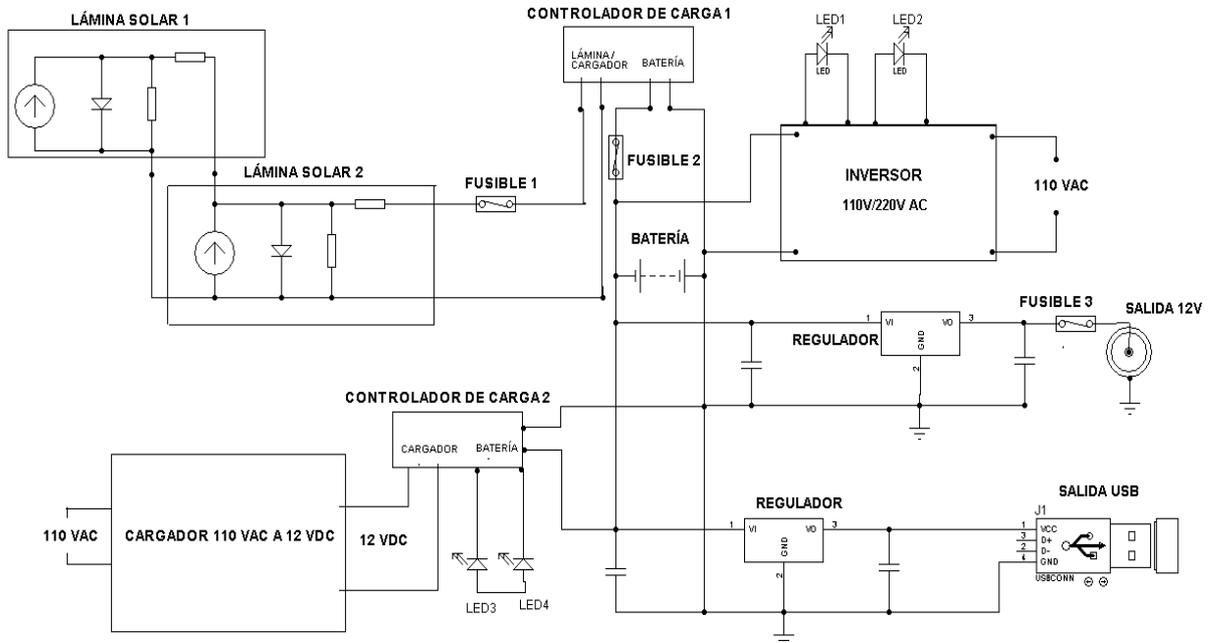


Fig. 3.14. Esquema eléctrico general corregido del equipo. Diseño de los autores.

3.4. Diseño de aditamentos especiales para el equipo.

Adicionalmente al módulo, se diseñó una estructura de soporte para las láminas solares.

La estructura de soporte fue rediseñada para construirse con tubo de aluminio cuadrado (de 2,5cm de lado), y, para unirse con accesorios plásticos:

- 1 pieza de 60 cm de largo, para soporte y variación del ángulo de inclinación de la lámina.
- 8 piezas de 49 cm de largo, que se conectarán entre sí, para completar los 2 m de longitud requeridos para estirar completamente la lámina.
- 5 piezas de 40 cm, para interconexión.
- 1 pieza de 40 cm, para soporte.

Para transporte, el set de elementos de la estructura se acomoda en un área de 14 x 17 cm (ver Fig. 3.15). La Fig. 3.16 muestra la estructura extendida. La Fig. 3.17 muestra la forma

de sujetar la lámina a la estructura, y, la Fig. 3.18 presenta una vista general de la estructura construida.

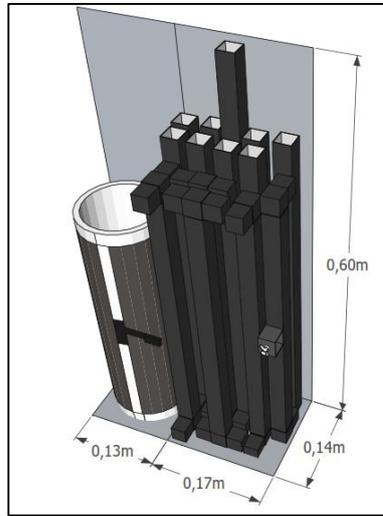


Fig. 3.15. Arreglo del set de componentes de la estructura de soporte de la lámina, para transporte. Elaborado por los autores.



Fig. 3.16. Geometría de la estructura de soporte de la lámina solar. Elaborado por los autores.

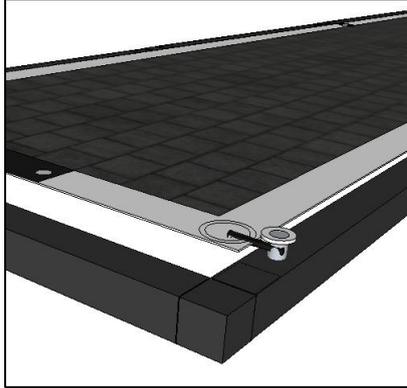


Fig. 3.17. Detalle de sujeción de la lámina solar a la estructura de soporte. Elaborado por los autores.



Fig. 3.18. Estructura para soporte de la lámina solar, construida en aluminio. Fotografía de los autores.

3.5. Fabricación del módulo central del equipo.

El módulo central del equipo se fabricó con fibra de vidrio, en un proceso de 5 etapas, enfocado en proporcionar la resistencia mecánica requerida para albergar a los componentes del sistema, y, garantizar el cumplimiento del IP63 planteado en los requerimientos.

3.5.1. *Etapa 1: construcción del molde de malla.*

En base al modelo diseñado en SketchUp, se procedió a construir un molde de malla de alambre, con un espesor de alambre de 1,5mm y una luz de malla de 1cm [32]. Este molde servirá de soporte para la colocación de la fibra de vidrio (Fig. 3.19).



Fig. 3.19. Molde de malla de alambre. Fotografía de los autores.

Para reforzar el molde, se colocó alrededor de él, un anillo de lámina metálica negra, de 0,9mm de espesor (ver Fig. 3.20).



Fig. 3.20. Anillo de lámina metálica negra, para reforzar el molde. Fotografía de los autores.

3.5.2. *Etapa 2: colocación de la fibra de vidrio.*

Una vez armado el molde, se cortó la fibra de vidrio en segmentos, con la intención de colocar sobre el molde, una cara a la vez. Colocada la fibra, se procedió a preparar la mezcla de resina, catalizador, y, acelerante. La mezcla se aplicó con brocha sobre la fibra, empezando por el interior del molde. Entre cada aplicación, se dejó secar la mezcla 30 minutos aproximadamente. Las Fig. 3.21 a la 3.25, muestran algunos momentos de este proceso.



Fig. 3.21. Colocación de la fibra de vidrio en el interior del molde. Fotografía de los autores.



Fig. 3.22. Preparación de resina, catalizador, y, acelerante. Fotografía de los autores.



Fig. 3.23. Aplicación de la mezcla sobre la fibra. Fotografía de los autores.



Fig. 3.24. Colocación de la fibra de vidrio en el exterior del molde. Fotografía de los autores.



Fig. 3.25. Aplicación de la mezcla sobre la fibra en el exterior del molde. Fotografía de los autores.

3.5.3. Etapa 3: acabado del molde.

Una vez seca la mezcla, se procedió a dar un acabado al molde con el fin de eliminar imperfecciones. Para esto, se lijó la fibra, se colocó masilla plástica, y, se pulió. Los orificios requeridos en el módulo se realizaron antes del masillado del molde (ver Fig 3.26 a la 3.30).



Fig. 3.26. Lijado del molde. Fotografía de los autores.



Fig. 3.27. Lijado del molde. Cara posterior. Fotografía de los autores.



Fig. 3.28. Ubicación de prueba de los componentes en la vista frontal. Fotografía de los autores.



Fig. 3.29. Ubicación de prueba de los componentes en la vista interior. Fotografía de los autores.



Fig. 3.30. Masillado del molde. Cara posterior. Fotografía de los autores

3.5.4. Etapa 4: pintado del molde.

Una vez completó el masillado del molde, se aplicó pintura externa, y, en los bordes del molde se aplicó una capa de autoforce (ver Fig. 3.31 y 3.32).



Fig. 3.31. Aplicación del fondo en el molde. Fotografía de los autores.



Fig. 3.32. Molde pintado y con autoforce en sus bordes. Fotografía de los autores.

3.5.5. Etapa 5: instalación de componentes.

El equipo ha sido diseñado para camping, por lo que deberá proporcionar un IP63. Para lograrlo, se aplicó autoforce (al interior del módulo, y, a los bordes del exterior), y, sikaflex (en los bordes de todos los componentes). Adicionalmente, en la cara posterior se colocó un empaque de caucho (ver Fig. 3.33).



Fig. 3.33. Empaque de caucho aplicado en la tapa del equipo. Fotografía de los autores.

Los circuitos correspondientes al inversor y al controlador de carga del cargador de pared, se encuentran acoplados a la cara superior del módulo. El controlador de carga de las láminas solares está ajustado sobre la cara frontal, así como también, el puerto de cigarrera, fusibles, e, interface del inversor.

La batería está ubicada en la base del módulo, sobre el anillo de lámina metálica negra, y, junto a ella, el cargador de pared. La batería se sujeta al módulo mediante una correa de metal (ver Fig. 3.34).

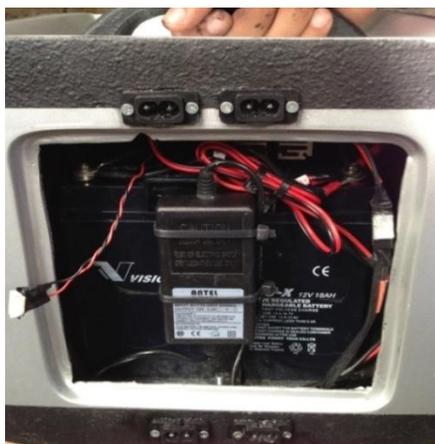


Fig. 3.34. Ubicación de la batería y del cargador de pared. Fotografía de los autores.

Para el etiquetado del equipo fabricado, se utilizó el software Adobe Illustrator CS5, y, se imprimió en el plotter Graphtec FC8000. Las Fig. 3.35, 3.36, y 3.37, muestran el equipo una vez fabricado y etiquetado.



Fig. 3.35. Módulo principal del equipo solar, vista isométrica. Fotografía de los autores.



Fig. 3.36. Módulo principal del equipo solar. Cara frontal, con etiquetas. Fotografía de los autores.



Fig. 3.37. Módulo principal del equipo solar. Cara posterior, con etiquetas. Fotografía de los autores.

3.6. Cálculo de la inversión realizada.

La Tabla 3.3 resume la inversión realizada en la fabricación del módulo principal del equipo diseñado, y, en la adquisición de los componentes.

Tabla 3.3: Inversión en la fabricación e implementación del equipo solar. Elaborado por los autores.

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
4	Brochas soyoda 2"	0,625	2,5
2	Fibra de vidrio MT 300GR X 1.2mts.	3,57	7,14
4	Lija 80 fandeli	0,45	1,78
2	Lija 240 fandeli	0,36	0,71
2	Lija 360 fandeli	0,36	0,71
1	Laca GLN	5,8	5,8
1	Galón envase vacío	0,9	0,89
2	Galones de resina	23,21	46,42
1	Sikaflex negro	10	10
1	Fondo 0022	23,88	23,88
8	T progresiva plástica 1"	1,12	8,928

Tabla 3.3: Inversión en la fabricación e implementación del equipo solar. Continuación ...

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Escuadra plástica 1"	1,79	1,7857
2	Tubo de 1x1 04 640	12,19	24,375
1	Sunforce 60031 10 Amp Charge Controller	33,98	33,98
1	Sunforce 7 Amp Charge Controller	15,14	15,14
1	Cobra CPI 480 400W Power Inverter	26,8	26,8
1	Envío Estados Unidos- Ecuador	30	30
1	Batería 12V 18Ah	68	68
1	Cargador de pared 19,5V 2A	15	15
1	Conectores	35,45	35,45
1	Mano de obra de construcción, conexiones y funcionamiento	200	200
		Subtotal	559,31
		IVA 12%	67,12
		TOTAL	626,43

CAPITULO IV

4. Análisis de los resultados obtenidos en la fase de prueba de un sistema portable de provisión de energía eléctrica para aplicaciones de camping, con aprovechamiento de la energía solar

4.1. Introducción.

En el marco de este proyecto, se estableció que el sistema portable de provisión de energía eléctrica para aplicaciones de camping, debería cumplir con los requerimientos establecidos en el capítulo 2.

Para validar esta correspondencia, se realizaron pruebas de desempeño del sistema bajo alimentación desde las láminas solares y desde la red eléctrica pública, y, en condiciones de descarga controlada. Los resultados obtenidos permitieron obtener las curvas de operación del sistema. Este trabajo describe los protocolos de pruebas y el análisis de los resultados obtenidos.

4.2. Breve referencia sobre el cumplimiento de recomendaciones constructivas del sistema implementado.

En este apartado, se analizó el cumplimiento de ciertas recomendaciones constructivas del sistema implementado, en correspondencia a sistemas de similares prestaciones existentes en el mercado.

4.2.1. Sobre el índice de protección.

A partir de las especificaciones de construcción del módulo principal, y, de acuerdo a lo descrito en [21], se pudo establecer que el sistema implementado cumple con un índice de protección equivalente a IP63; es decir, que posee protección total contra la penetración de cualquier cuerpo sólido (polvo) y la caída de gotas de agua con un ángulo de hasta 60° con respecto de la vertical, desde cualquier dirección.

4.2.2. Sobre el peso.

De acuerdo a las normas para manipulación de cargas del Ministerio de Trabajo e Inmigración y del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo, de España [33], el

peso es uno de los factores principales al evaluar el riesgo de manipulación manual de una carga. La norma discrimina el peso en función de la altura sobre la que se porta. Para una carga transportada a la altura correspondiente al segmento entre codo y los nudillos de la mano de un brazo extendido, el peso máximo recomendado es de 25Kg para hombres mayores de 18 años, y, 15 Kg para menores de 18 años o mujeres.

Tabla 4.1: Distribución del peso en el módulo principal del sistema implementado. Elaborado por los autores.

COMPONENTE	PESO
Batería	5,70 Kg
Inversor	0,56 Kg
Controlador de carga del panel	0,40 Kg
Controlador de carga del tomacorriente	0,09 Kg
Fusibles, ventilador, cigarrera	0,20 Kg
Peso de la carcasa	2,00 Kg
TOTAL	8,95Kg

El módulo principal del sistema implementado, tiene un peso aproximado de 9Kg (ver Tabla 4.1). El peso total del sistema se consigue al adicionar el peso de la lámina solar y del soporte, obteniendo como resultado 11Kg, por lo que se puede afirmar que cumple con la recomendación de la norma.

4.2.3. Sobre prestaciones operativas del sistema.

La Tabla 4.2 permite realizar un análisis comparativo de las prestaciones del sistema implementado, respecto a las características del equipo comercial Yeti 150, adoptado como modelo referencial para este proyecto.

Tabla 4.2: Comparativa entre las prestaciones del equipo comercial referencial y el sistema construido. Elaborado por los autores.

Características	Yeti 150	Sistema implementado
Capacidad de la batería	14Ah	18Ah
Potencia de salida	168Wh	216Wh
Puertos de entrada	Puerto de carga 14-29V DC, 5A máx.	Puerto de carga lámina solar 15-24V DC, 5A máx.
Puertos de salida	Puerto universal AC 110V-220V	2 Puertos AC 110V
	Puerto USB 5V, 2A.	Puerto USB 5V, 2A.
	Puerto 12V	Puerto 12V
Tiempo aproximado de carga	Pared, 6 horas	Pared, 6 horas
	Cigarrera, 8 horas	
	Panel solar, 13 a 26 horas	Lámina solar, 12 a 20 horas
Peso	5,4Kg	9Kg
Dimensiones	19.7 x 14.6 x 17.2 cm	28 x 26 x 21 cm

La comparación permite afirmar que el sistema implementado, tiene una mayor capacidad de almacenamiento respecto al Yeti 150, lo que le permite mantener una mayor potencia de salida, pero con peso y dimensiones mayores. La Fig. 4.1 muestra una panorámica del sistema implementado totalmente desplegado.



Fig. 4.1. Panorámica del sistema implementado en condiciones de total despliegue. Fotografía de los autores.

4.3. Pruebas para analizar el desempeño del sistema implementado.

4.3.1. Carga del sistema desde el cargador de pared.

Esta prueba se propuso para establecer el tiempo requerido para la carga total de la batería a partir del cargador de pared, y, para determinar la operatividad del controlador de carga.

En esta prueba se registró del nivel de voltaje en la batería. Se prestableció que la batería se cargaría en aproximadamente 6 horas; en las primeras 5 horas, se registró el nivel de voltaje en la batería en intervalos de 30 min; mientras que, en la última hora, la adquisición fue cada 2 min (ver Tabla 4.3).

Tabla 4.3: Carga del sistema desde el cargador de pared.

Elaborado por los autores

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
0,00	11,40
0,50	12,51
1,00	12,62
1,50	12,74
2,00	12,88
2,50	12,97
3,00	13,06
3,50	13,22
4,00	13,45
4,50	13,67
5,00	14,02
5,02	14,04
5,03	12,97
5,04	14,04
5,05	12,97
5,07	13,98
5,08	12,97
5,12	13,94
5,13	12,97

Tabla 4.3: Carga del sistema desde el cargador de pared.

Continuación ...

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
5,16	13,88
5,17	12,97
5,19	13,93
5,20	12,97
5,26	13,86
5,26	12,97
5,31	13,92
5,32	12,97
5,35	13,96
5,36	12,97
5,42	13,88
5,43	12,97
5,52	13,92
5,53	12,97
5,59	13,96
5,60	12,97
5,69	13,92
5,70	12,98
5,81	13,97
5,82	12,99
5,92	13,78
5,93	12,99
6,00	13,86
6,02	12,99
6,03	13,95

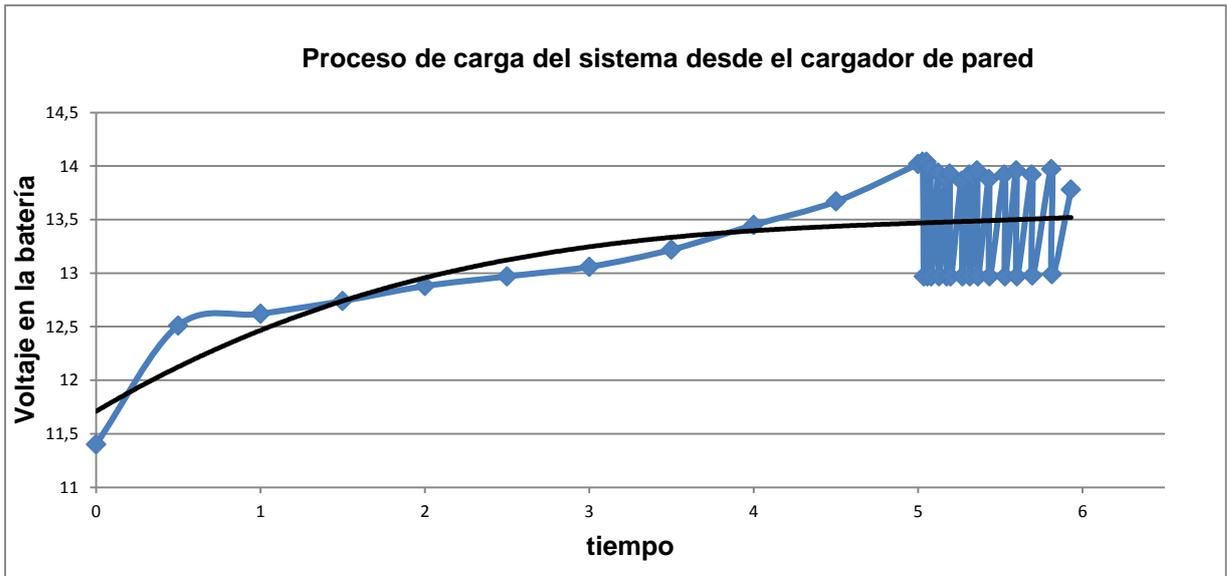


Fig. 4.2. Proceso de carga del sistema desde el cargador de pared. Diseño de los autores.

La Fig. 4.2 muestra la gráfica de carga del sistema desde el cargador de pared. La carga de la batería se completa en aproximadamente 5 horas, luego de lo cual empieza a funcionar el modo PWM del cargador de batería. Los resultados muestran que esta prestación del sistema funciona correctamente.

4.3.2. Carga del sistema desde la lámina solar.

Debido a las condiciones climáticas en la zona de Loja al momento de culminar este proyecto, la naturaleza de la carga del sistema desde la lámina solar, se estableció para días parcialmente nublados, adquiriendo data entre las 7:00 y 16:00 de 2 días consecutivos, a intervalos de 10 min. La Tabla 4.4 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 4.4: Carga del sistema desde la lámina solar.

Elaborado por los autores.

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
0,00	11,40
0,16	11,41

Tabla 4.4: Carga del sistema desde la lámina solar.

Continuación ...

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
0,33	11,42
0,50	11,47
0,66	11,51
0,83	11,73
1,00	11,96
1,16	11,98
1,33	12,00
1,50	12,14
1,66	12,30
1,83	12,40
2,00	12,48
2,16	12,51
2,33	12,54
2,50	12,60
2,66	12,37
2,83	12,42
3,00	12,65
3,16	12,50
3,33	12,65
3,50	12,80
3,66	12,82
3,83	12,80
4,00	12,67
4,16	12,76
4,33	12,90
4,50	13,00
4,66	13,10
4,83	12,98
5,00	12,90
5,16	12,87
5,33	12,92
5,50	13,05
5,66	13,07

Tabla 4.4: Carga del sistema desde la lámina solar.

Continuación ...

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
5,83	13,12
6,00	13,35
6,16	13,10
6,33	13,21
6,50	12,90
6,66	13,20
6,83	12,97
7,00	12,91
7,16	13,10
7,33	13,30
7,50	13,21
7,66	12,96
7,83	12,91
8,00	13,20
8,16	13,10
8,33	12,47
8,50	12,86
8,66	12,70
8,83	12,60
9,00	12,30
Voltaje de estabilización	12,62
9,16	12,62
9,33	12,63
9,50	12,65
9,66	12,65
9,83	12,66
10,00	12,66
10,16	12,67
10,33	12,95
10,50	12,97
10,66	13,01
10,83	13,30

Tabla 4.4: Carga del sistema desde la lámina solar.

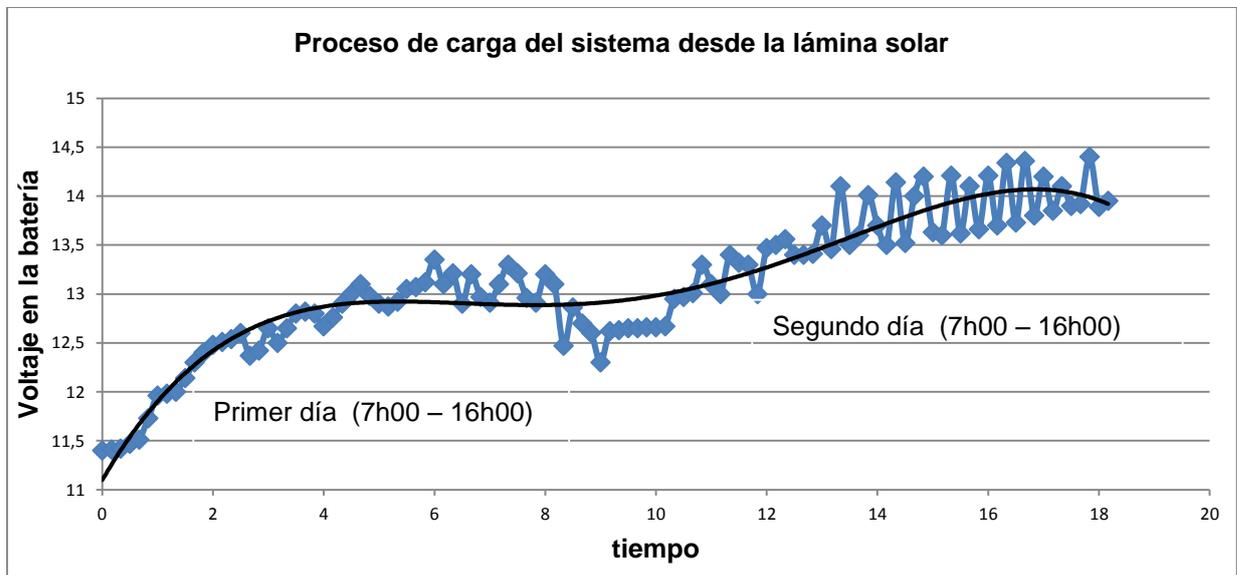
Continuación ...

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
11,00	13,10
11,16	13,00
11,33	13,40
11,50	13,32
11,66	13,30
11,83	13,00
12,00	13,47
12,16	13,50
12,33	13,56
12,50	13,40
12,66	13,40
12,83	13,41
13,00	13,70
13,16	13,46
13,33	14,10
13,50	13,50
13,66	13,60
13,83	14,01
14,00	13,70
14,16	13,50
14,33	14,14
14,50	13,52
14,66	14,00
14,83	14,20
15,00	13,63
15,16	13,60
15,33	14,21
15,50	13,62
15,66	14,10
15,83	13,66
16,00	14,21
16,16	13,70
16,33	14,34

Tabla 4.4: Carga del sistema desde la lámina solar.

Continuación ...

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
16,50	13,73
16,66	14,36
16,83	13,80
17,00	14,20
17,16	13,85
17,33	14,10
17,50	13,90
17,66	13,92
17,83	14,40
18,00	13,89
18,16	13,95
Voltaje de estabilización	12,80

**Fig. 4.3.** Proceso de carga del sistema desde la lámina solar. Diseño de los autores.

La Fig. 4.3 muestra la gráfica de carga del sistema desde la lámina solar. La carga de la batería se completó en aproximadamente 18 horas. Los resultados muestran que esta prestación del sistema funciona correctamente.

4.3.3. Consideraciones para el análisis de la naturaleza de la descarga del sistema al proveer de energía.

Para medir el desempeño del sistema en esta prestación, se consideró 2 regímenes de trabajo: provisión de energía a un almacén de dispositivos de camping, y, provisión de energía a un único computador.

En el primer régimen de provisión, para el almacén se seleccionó dispositivos de uso común en camping (u otras actividades), y, de consumo de energía moderado: un celular, una lámpara LED, un GPS, y, una radio. La Tabla 4.5 resume el requerimiento diario de energía de todo el almacén seleccionado.

Tabla 4.5: Requerimiento diario de energía del almacén de dispositivos a alimentar. Elaborado por los autores.

Dispositivo	Unidades	Consumo, W	Uso diario estimado, h	Total energía requerida, Wh/día
Celular	1	3,50	1	3,50
Radio	1	3,15	10	31,50
Lámpara LED	2	10,08	8	80,64
GPS	1	1,75	1	1,75
TOTAL				117,39

La Tabla 4.6 resume la proyección de demanda diaria de energía para el segundo régimen de provisión.

Tabla 4.6: Requerimiento diario de energía de un computador. Elaborado por los autores

Dispositivo	Unidades	Consumo, W	Uso diario estimado, h	Total energía requerida, Wh/día
Computador	1	65	1	65
TOTAL				65

4.3.4. Descarga del sistema en la provisión de energía al almacén de dispositivos.

En este apartado, se realizaron algunas pruebas, que en el marco de este proyecto, se denominaron escenarios.

4.3.4.1. Escenario 1.

Desde el sistema, previamente cargado, se alimentó 2 lámparas de 20W cada una, y, 1 radio de 75W. Cada uno de los dispositivos se alimentó por separado, hasta que el sistema se descargó totalmente. Las Tablas 7 y 8 muestran los resultados obtenidos. La Fig. 4.4 muestra la gráfica de descarga del sistema al alimentar, por separado, las lámparas y la radio. Tal como se esperaba, los resultados muestran que el tiempo de provisión de energía desde el sistema es inversamente proporcional a la demanda de energía desde la carga.

Tabla 4.7: Proceso de descarga del sistema alimentando lámparas.
Elaborado por los autores.

	Tiempo de descarga, h	Voltaje en la batería, V
Carga: 2 lámparas de 20W	0,00	12,81
	0,25	12,30
	0,50	12,20
	0,75	12,11
	1,00	12,02
	1,25	11,93
	1,50	11,83
	1,75	11,72
	2,00	11,60
	2,25	11,46
	2,50	11,29
	2,75	11,03
	3,00	10,53
3,25	9,30	
Voltaje de estabilización del equipo sin carga		11,53

Tabla 4.8: Proceso de descarga del sistema alimentando una radio.
Elaborado por los autores.

	Tiempo de descarga, h	Voltaje en la batería, V
Carga: 1 radio de 75W	0,00	12,81
	0,25	12,20
	0,50	11,94
	0,75	11,80
	1,00	11,62
	1,25	11,43
	1,50	11,23
	1,75	10,70
	2,00	9,30
Voltaje de estabilización del equipo sin carga		11,55

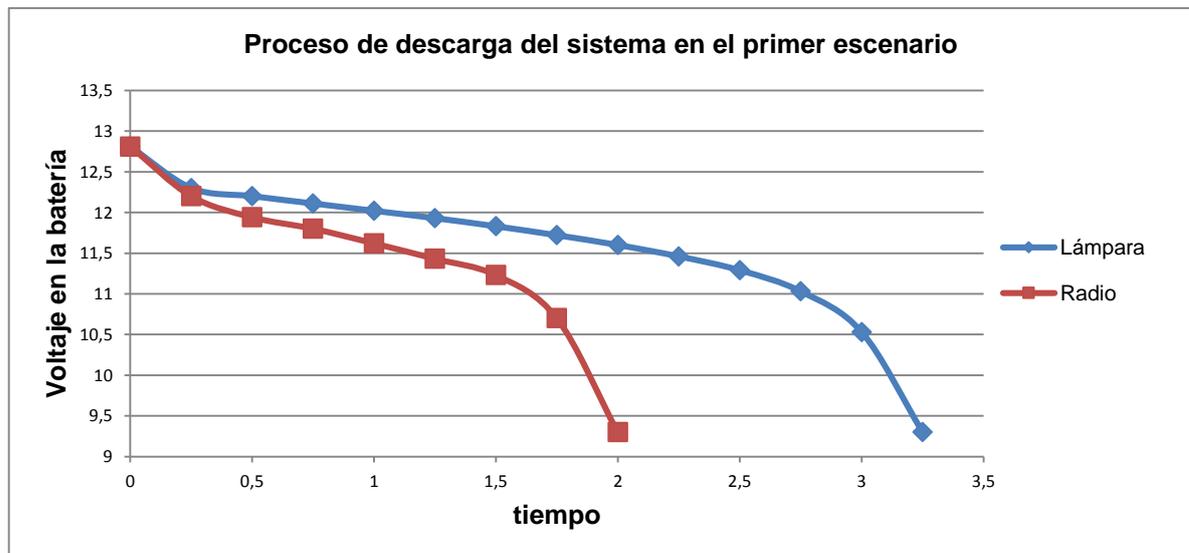


Fig. 4.4. Proceso de descarga del sistema alimentando lámparas o radio. Diseño de los autores.

La Fig. 4.4 muestra la gráfica de descarga del sistema. La descarga de la batería se completó en aproximadamente 3 horas y 20 minutos para las lámparas y 2 horas para la radio. Los resultados muestran que la descarga es proporcional con respecto a la potencia que consumen los equipos. Este escenario del sistema funciona correctamente.

4.3.4.2. Escenario 2.

En este escenario se probó el desempeño del sistema en las condiciones de trabajo proyectadas en el diseño (ver Tabla 4.5): varias cargas conectadas al equipo en forma simultánea y/o alternada. Desde el sistema, previamente cargado, se alimentó 1 celular de 3,2W (durante 1 hora), un GPS de 3,2W (durante 1 hora), una radio de 20W (durante 1 hora y 33 minutos), y, 1 lámpara de 20W (durante 4 horas). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9: Descarga sistema implementado en el escenario 2.

Elaborado por los autores.

Carga	Consumo, W	Tiempo de carga, h	Porcentaje de carga, %	Voltaje en la batería, V
Celular y GPS	6,4	0	0	12,81
		0,25	27	12,24
		0,50	53	12,18
		0,75	82	12,13
		1,00	100	12,07
Radio	31,5	0		12,81
		2	-	12,23
		4	-	12,16
		6	-	12,10
		8	-	12,04
		10	-	11,96
Lámpara LED	10,08	0		12,81
		2	-	12,07
		4	-	11,87
		6	-	11,62
		8	-	11,45
Voltaje de estabilización del equipo sin carga				11,84

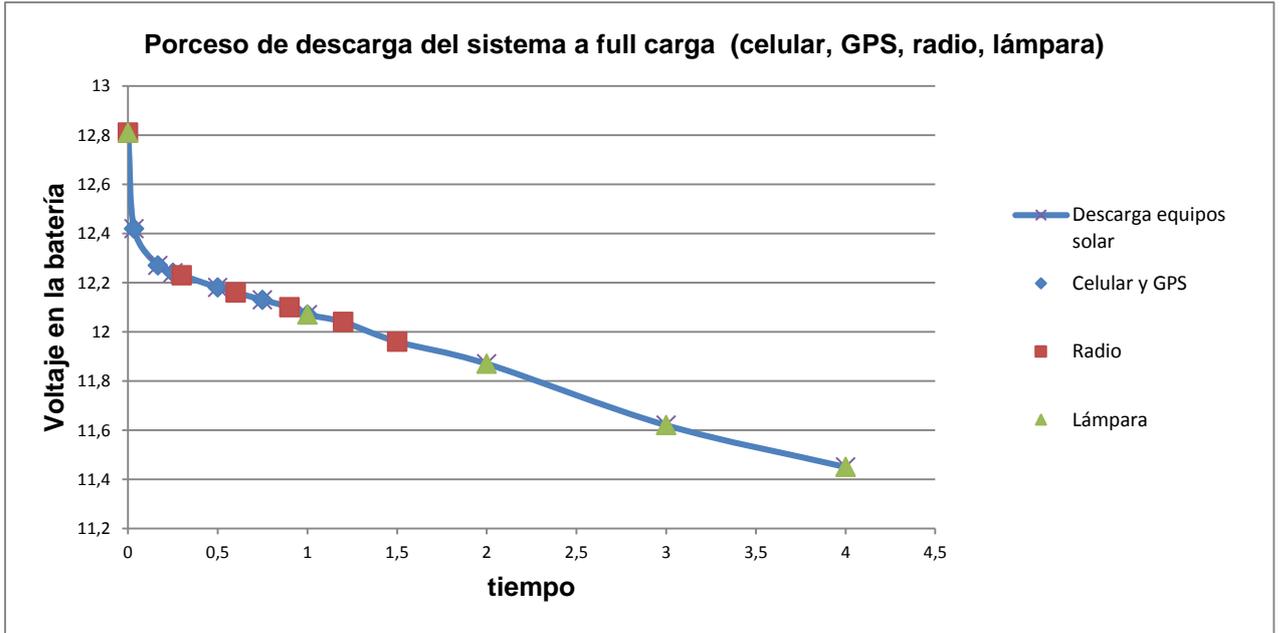


Fig. 4.5. Proceso de descarga del sistema alimentando full carga. Diseño de los autores

La Fig. 4.5 muestra la gráfica de descarga del sistema. Los resultados muestran que el sistema puede alimentar a todo el almacén de dispositivos, durante el tiempo estimado en el diseño.

4.3.5. Descarga del sistema en la provisión de energía a un computador.

4.3.5.1. Escenario 1.

Desde el sistema previamente cargado, se alimentó un computador portátil completamente descargado, y, no operativo (ver Fig. 4.6). Los resultados del proceso de descarga del sistema solar se muestran en la Tabla 4.10.



Fig. 4.6. Carga de un computador descargado, desde el sistema implementado. Fotografía de los autores.

Tabla 4.10: Descarga del sistema al alimentar la carga de un computador portátil inactivo. Elaborado por los autores.

Carga: Portátil HP Pavilion (descargada y apagada)				
Dispositivo	Consumo, W	Tiempo de carga, h	Porcentaje de carga, %	Voltaje en la batería, V
Portátil	65	0	0	12,81
		0,25	34	12,05
		0,50	57	11,92
		0,75	100	11,86
		1,00	100	11,86
		1,25	100	11,86
Voltaje de estabilización del equipo sin carga				12,20

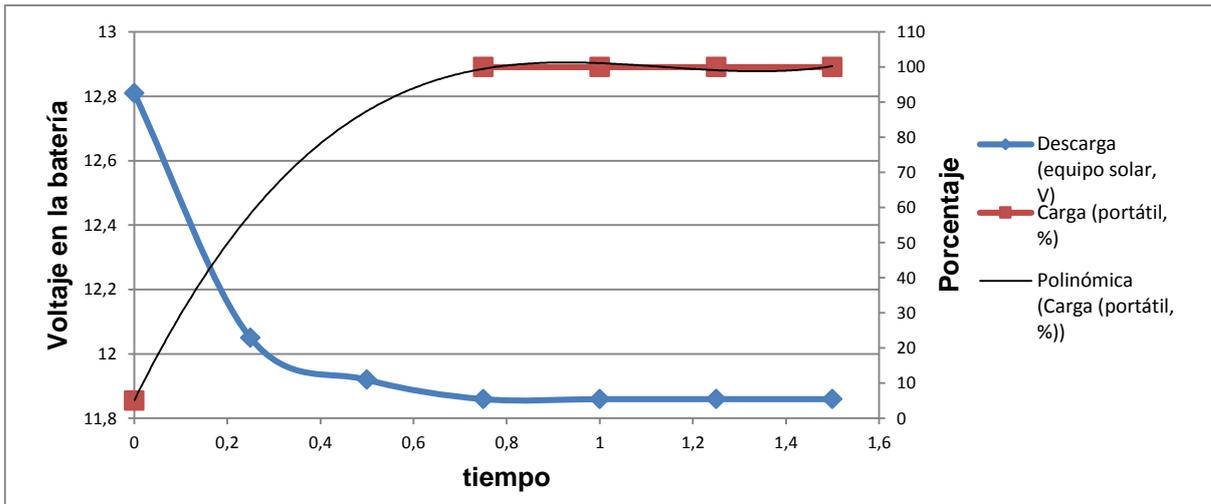


Fig. 4.7. Procesos de descarga del sistema y carga de un computador portátil inactiva. Diseño de los autores.

4.3.5.2. Escenario 2.

Desde el sistema previamente cargado, se alimentó un computador portátil completamente descargado, y, (Autocad 2011, Reproductor Windows media, Avast antivirus, Skype, Mozilla Firefox, Word y Excel). El rendimiento del CPU estuvo entre 65% y 95% (ver Fig. 4.8). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.11.

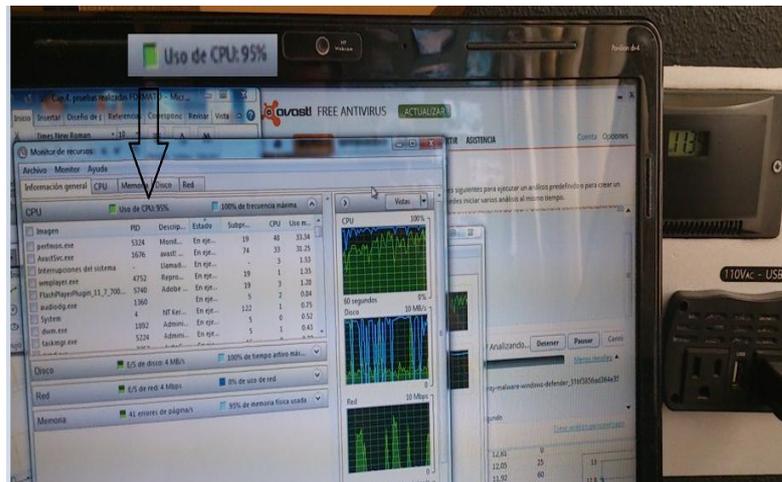


Fig. 4.8. Rendimiento del computador durante la prueba. Fotografía de los autores.

Tabla 4.11: Descarga del sistema al alimentar la carga de un computador portátil activo.
Elaborado por los autores.

Carga: Portátil HP Pavilion (descargada y en uso)				
Dispositivo	Consumo, W	Tiempo de carga, h	Porcentaje de carga, %	Nivel de la batería, V
Portátil	65	0	8	12,81
		0,25	28	11,96
		0,50	44	11,75
		0,75	59	11,55
		1,00	71	11,29
		1,25	82	10,66
		1,33	85	9,74
		1,40	88	9,05
Voltaje de estabilización del equipo sin carga				11,50

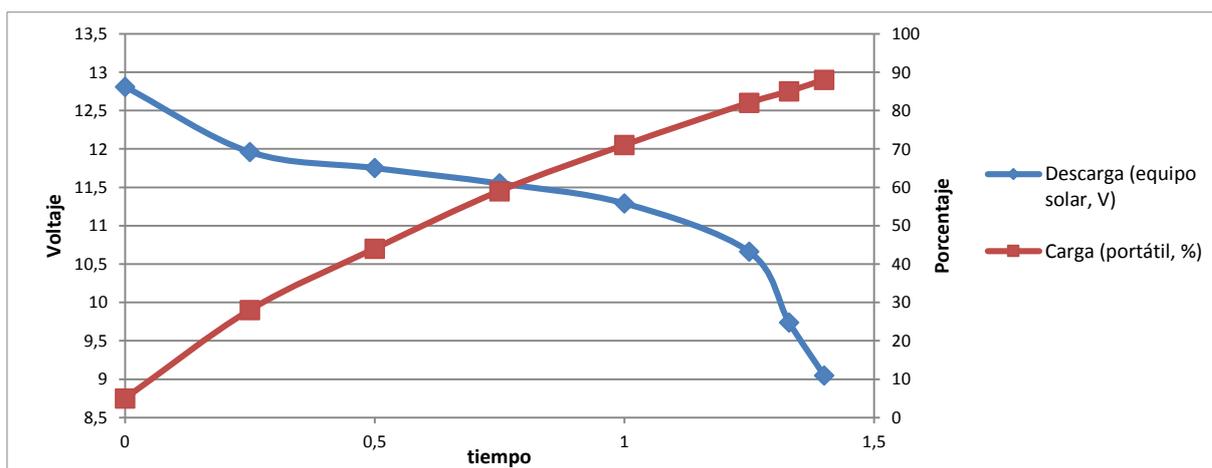


Fig. 4.9. Procesos de descarga del sistema y carga de un computador portátil activa. Diseño de los autores.

CONCLUSIONES

- El avance y miniaturización constante de la tecnología, ha convertido a la energía en una posesión personal. Ahora, es común portar algún tipo de dispositivo electrónico diseñado para ofrecer diversas prestaciones o servicios.
- La tecnología para aprovechamiento de energía solar ha tenido un gran avance en los últimos años, pasando de paneles rígidos y pesados, a superficies flexibles y livianas, que facilitan el diseño e implementación de aplicaciones portables.
- Las aplicaciones solares para la provisión de energía utilizan módulos fotovoltaicos, contruidos a partir de células solares, empleando 3 diferentes tecnologías: oblea de silicio cristalino, thin film, y, DSC.
- Las tecnologías emergentes o de tercera generación para la fabricación de módulos solares, representan una serie de propuestas que persiguen dos objetivos básicos: reducir el coste de fabricación (empleando rutas químicas de preparación que empleen materiales baratos), y, aumentar la eficiencia por encima del límite de 25% que afecta a las configuraciones tradicionales.
- El mercado fotovoltaico actual está dominado por la tecnología de oblea de silicio, pero se espera un crecimiento acelerado de las tecnologías de capa fina y de los conceptos emergentes.
- Tanto los amantes de la conexión integral, como aquellos que prefieren la cultura slow, encuentran en el mercado varias aplicaciones tecnológicas para camping (carpas, mochilas, linternas, ventiladores, relojes, cargadores), que utilizan la energía solar.
- En las aplicaciones solares portables para camping, presentes en el mercado, existe una relación directa entre la capacidad de la batería (la potencia del equipo), y, el peso y tamaño de la aplicación. En este contexto, el desafío más importante al diseñar una aplicación propia será encontrar un equilibrio adecuado entre las tres variables, apuntando a la reducción del peso sin afectar la capacidad de almacenamiento.
- En el marco de este proyecto, se decidió adoptar como modelo referencial para el prediseño de un equipo portable para provisión de energía eléctrica basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping, al equipo comercial Yeti150, fabricado por GoalZero.
- La selección de este equipo como modelo referencial, se basó en que el peso y volumen facilitan la portabilidad mientras que, la potencia de salida es suficiente

para conectar dispositivos de consumo moderado (iluminación, radio, GPS, entre otros), con una aceptable autonomía de provisión.

- Se propuso que el equipo a diseñar conste de 4 bloques: captura de energía solar a través de láminas solares, regulador de carga de la batería, storage, e, interface de usuario.
- La energía solar se capturará a través de láminas solares flexibles (livianas), con lo que se conseguirá mejorar la portabilidad de toda la aplicación. Un controlador gestionará la carga de la batería, ya sea desde las láminas solares o desde el cargador de pared. La energía capturada o provista por la red, se almacenará en una batería.
- La interface de usuario, presentará dos módulos: entrega de energía y conectividad. En el módulo de entrega de energía, la interface de usuario proporcionará 2 salidas de AC a 110V, un conector USB, y, 1 salida AD a 12V. La conversión AD en AC se logrará en un inversor. El módulo de conectividad contendrá dos puertos para conexión de las láminas solares, un puerto de entrada para conexión a la red convencional, y, un puerto para ampliar la capacidad de la aplicación a través de la conexión de un segundo equipo.
- Considerando que las baterías comerciales operan comúnmente a 12V y 24V, se decidió montar el esquema eléctrico en 12V y conectar las láminas en paralelo, con lo que aumenta la corriente eléctrica disponible para la carga, y, se reduce el tiempo de carga.
- Para dimensionar la carga a alimentar, se consideró 2 regímenes de trabajo del equipo: provisión a un almacén mínimo de dispositivos (grupo de dispositivos de uso común en camping), y, provisión a un computador portátil u otras cargas AC.
- Con la intención de verificar el desempeño de las láminas solares en la zona de Loja, se decidió medir el voltaje y la corriente de las láminas, para diferentes condiciones de trabajo: ubicación (interior, exterior), y, clima (despejado, nublado). Los resultados obtenidos mostraron que el mejor desempeño de las láminas solares se registra en los 15° de inclinación. En base a esto, se decidió que la lámina solar debería ser desplegada sobre un soporte metálico desmontable y portable, que garantice la inclinación requerida.
- El soporte metálico para la lámina solar, será fabricado en tubo de aluminio. Se sugirió una estructura conformada por quince partes acoplables entre sí. El ángulo de inclinación del soporte puede variar entre 0 a 16°, con un ángulo recomendable de 10°.

- Por cuanto el equipo será utilizado para camping, este deberá ser capaz de soportar altos niveles de humedad, y, polvo. De acuerdo al estándar internacional IEC 60529, se decidió recomendar un índice de protección IP63.
- El equipo deberá tener un montaje compacto, sólido, y, liviano. En este contexto, se decidió instalar los elementos del equipo en una estructura tipo caja, fabricada de fibra de vidrio, y, revestida en su interior con pintura batida de piedra para mayor resistencia mecánica. La caja se cerrará con una tapa, ajustada adecuadamente. Y para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía del equipo, se decidió prever la conexión de diferentes módulos a través de los conectores desplegados en la parte posterior de la estructura
- La ingeniería de detalle y la construcción del módulo principal del sistema, se ha fundamentado en tres premisas: optimizar el rendimiento del sistema, mejorar los indicadores ergonómicos del equipo, y, afianzar la portabilidad.
- Como resultado de la selección final de componentes del sistema, en la arquitectura originalmente propuesta se incluyó un controlador de carga para abastecer al sistema desde la red eléctrica pública, a fin de aislar los 2 subsistemas de carga, y, evitar que las corrientes de retorno provenientes del cargador de pared afecten a las láminas solares.
- El módulo central del equipo se fabricó con fibra de vidrio, en un proceso de 5 etapas, enfocado en proporcionar la resistencia mecánica requerida para albergar a los componentes del sistema, y, garantizar el cumplimiento del IP63 planteado en los requerimientos.
- El sistema implementado cumple con un índice de protección equivalente a IP63; es decir, que posee protección total contra la penetración de cualquier cuerpo sólido (polvo) y la caída de gotas de agua con un ángulo de hasta 60° con respecto de la vertical, desde cualquier dirección.
- El peso total del sistema es de 11Kg, por lo que se puede afirmar que cumple con la recomendación a las normas para manipulación de cargas del Ministerio de Trabajo e Inmigración y del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo, de España.
- El sistema implementado, tiene una mayor capacidad de almacenamiento respecto al modelo referencial Yeti 150, lo que le permite mantener una mayor potencia de salida, pero con peso y dimensiones mayores.
- La carga de la batería se completa en aproximadamente 5 horas, luego de lo cual empieza a funcionar el modo PWM del cargador de batería. Los resultados muestran que esta prestación del sistema funciona correctamente.

- La carga de la batería desde la lámina solar se completó en aproximadamente 18 horas. Los resultados muestran que esta prestación del sistema funciona correctamente.

RECOMENDACIONES

Para trabajos futuros en cuanto a diseño de sistemas portables, es recomendable trabajar en base a los principales parámetros de diseño, como la capacidad de almacenamiento, el peso, y, la autonomía. En el presente trabajo se ha logrado conjugar correctamente la capacidad de almacenamiento para obtener una prolongada autonomía, pero con una carga extra de peso para la aplicación.

El peso depende mayoritariamente de la batería. Para reducirlo se debería optar por baterías como las de litio, que reducen considerablemente el peso para capacidades similares de almacenamiento de energía. Actualmente la dificultad consiste en su disponibilidad limitada y sus altos precios.

REFERENCIAS

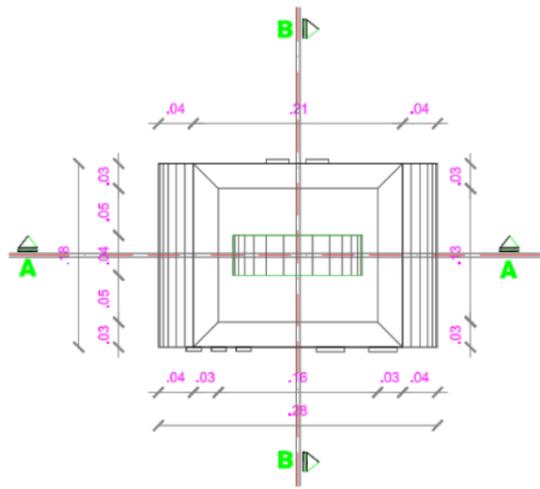
- [1]. Energía Solar. La Eléctrica. [Online]. Disponible en: <http://laelectrica.wordpress.com/tag/placas-solares/>
- [2]. Ahorro de energía. Ventajas de la energía solar portable en la vida cotidiana. [Online]. Disponible en: <http://www.ahorroenenergia.com/ventajas-de-la-energia-solar-portable-en-la-vida-cotidiana/>
- [3]. Era del networknomics. [Online]. Disponible en: <http://www.networknomics.com/bienvenidos-a-la-era-networknomics/>
- [4]. La generación C. [Online]. Disponible en: <http://www.arcauniversal.com.ar/la-generacion-c-cambiara-el-mundo-del-consumo>
- [5]. Perspectivas de la energía solar. [Online]: Disponible en: <http://www.consoliderhope.uji.es/energiaSolar.php>
- [6]. Células solares. [Online]. Disponible en: http://www.tendencias21.net/Crean-celulas-solares-que-se-pegan-como-tiritas-a-moviles-y-documentos_a14591.html
- [7]. Células solares. [Online]. Disponible en: http://www.tendencias21.net/Celulas-solares-en-3D-duplican-la-produccion-energetica-de-los-paneles_a10891.html
- [8]. Novedosa tecnología convierte el papel en células fotovoltaicas. [Online]. Disponible en: http://www.tendencias21.net/Una-novedosa-tecnologia-convierte-el-papel-en-celulas-fotovoltaicas_a7034.html
- [9]. Solar e Power Cube, WAGAN. [Online]. Disponible en: <http://www.smarthome.com/manuals/92800-man.pdf>
- [10]. ECO1800S Solar Power Generator, ECOTRICITY. [Online]. Disponible en: <http://www.smarthome.com/manuals/44396.pdf>
- [11]. GoalZero, Medium devices. Escape Adventure kit 150. [Online]. Disponible en: <http://www.goalzero.com/shop/p/60/Escape-150-Adventure-Kit/1:2>
- [12]. Kit Yeti 1250. [Online]. Disponible en: <http://www.goalzero.com>
- [13]. Kit Extreme 350. [Online]. Disponible en: <http://www.goalzero.com/extreme350>
- [14]. Kit Yeti 150. [Online]. Disponible en: <http://www.goalzero.com/yeti150>
- [15]. Goalzero. Kit Extreme 350. [Online]. Disponible en: <http://www.goalzero.com/shop/p/63/Extreme-350-Kit/6:1/>
- [16]. PowerFilm Solar. [Online]. Disponible en: <http://www.powerfilmsolar.com/>
- [17]. Sánchez Maza Miguel Ángel, “ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”, pág. 151-155.
- [18]. Harper Enríquez, Primera edición 2010 México DF, “INSTALACIONES ELÉCTRICAS DOMÉSTICAS CONVENCIONALES Y SOLARES FOTOVOLTAICOS”, pág. 363-365.

- [19]. Chuquín Vasco Nelson Santiago, Márquez Saña y Fernando Ricardo, “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA PUBLICITARIO ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR, Y CONTROLADO CON UN RELÉ INTELIGENTE”, [Online]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/888?mode=full>
- [20]. Castro, Andrea. Jaramillo, Jorge Luis. CARACTERIZACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LÁMINAS SOLARES. [Online]. Disponible en: <http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/6991/1/Castro%20Andrea.pdf>
- [21]. NORMAS GLOBALES PARA GABINETES EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA. [Online]. Disponible en: http://www.hoffmanonline.com/stream_document.aspx?rRID=245286&pRID=245285
- [22]. Baterías para sistemas solares y eólicos. [Online]. Disponible en: <http://deltavolt.pe/baterias>
- [23]. Batería LFX21L6- BS12. [Online]. Disponible en: <http://www.powerplace.com.ec>
- [24]. Batería SLA T3. [Online]. Disponible en: <http://www.chromebattery.com/12v-20ah-sealed-lead-acid-sla-nut-and-bolt-connector.html>
- [25]. Batería 6FM18. [Online]. Disponible en: <http://shoraipower.com.au/store/products/lfx21l6-bs12/>
- [26]. Inversor PV 375. [Online]. Disponible en: <http://www.tripplite.com/en/products/model.cfm?txtSeriesID=815&txtModelID=2552>
- [27]. Wagan invertir. [Online]. Disponible en: <http://www.wagan.com/media/pdf/smart-ac/2003-5.pdf>
- [28]. Inversor Cobra CPI 480. [Online]. Disponible en: https://cobra.com/Manuals/CPI480_MANL.pdf
- [29]. Interface física del controlador Sunforce de 10A de carga. Disponible en: http://www.sunforceproducts.com/product_details.php?PRODUCT_ID=152
- [30]. Carga de baterías [Online]. Disponible en: <http://www.electroimpulso.com.ar/ENERGIASOLAR/BAT.pdf>
- [31]. Interface física del controlador de carga 7A. Disponible en: http://www.sunforceproducts.com/product_details.php?PRODUCT_ID=56
- [32]. Tejidos metálicos de uso industrial [Online]. Disponible en: <http://www.ingefilter.com/pdf/Mallas.pdf>
- [33]. Manipulación manual de cargas. Ministerio de Trabajo e Inmigración. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo. España [Online]. Disponible en: <http://www.insht.es/MusculoEsqueleticos/Contenidos/Formacion%20divulgacion/material%20didactico/GuiatecnicaMMC.pdf>

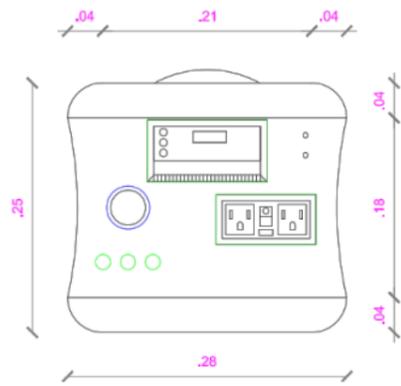
ANEXOS

ANEXO A

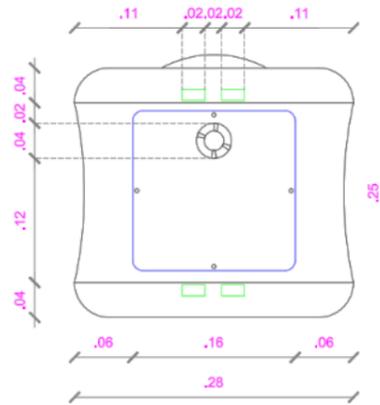
PLANOS DE INGENIERÍA DE DETALLE Y FABRICACIÓN DE UN EQUIPO PORTABLE PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR, ORIENTADO A APLICACIONES DE CAMPING



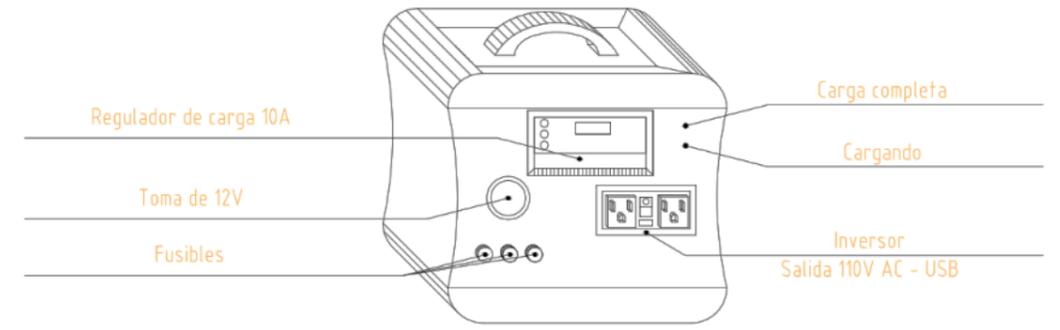
VISTA EN PLANTA
ESCALA 1:2.5



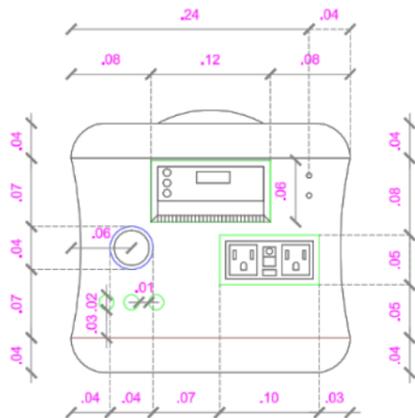
VISTA FRONTAL
ESCALA 1:2.5



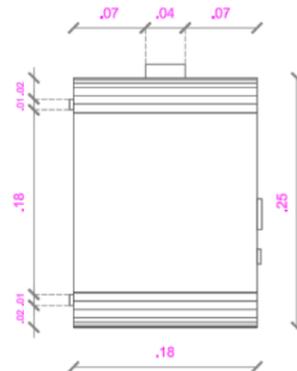
VISTA POSTERIOR
ESCALA 1:2.5



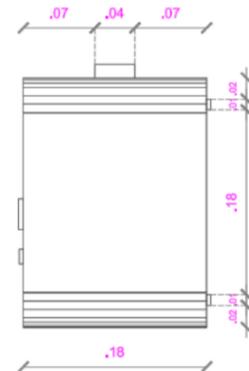
VISTA 3D FRONTAL
ESCALA GRÁFICA



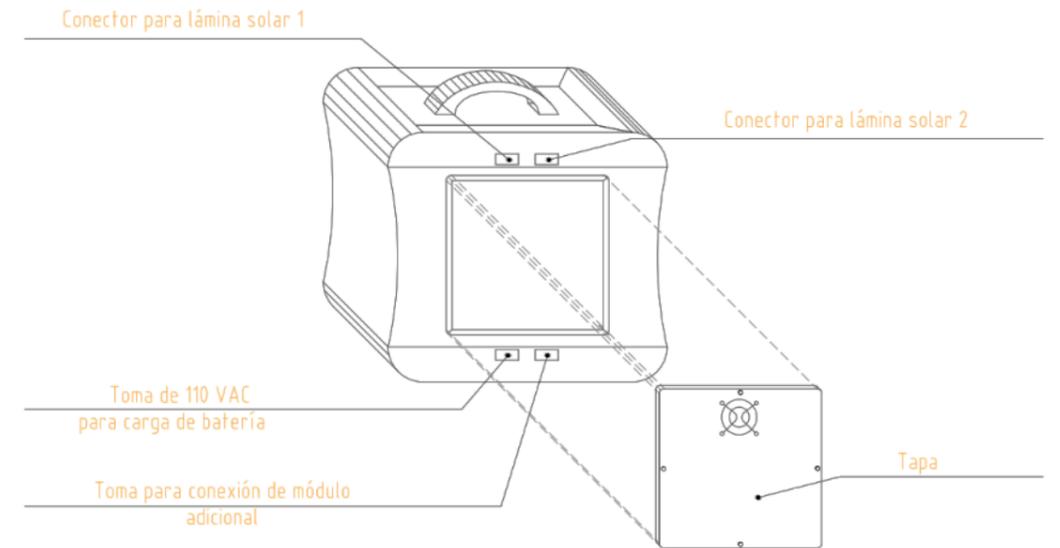
VISTA FRONTAL
ESCALA 1:2.5



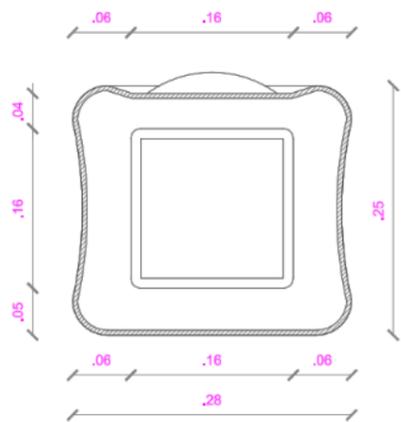
VISTA LATERAL IZQ.
ESCALA 1:2.5



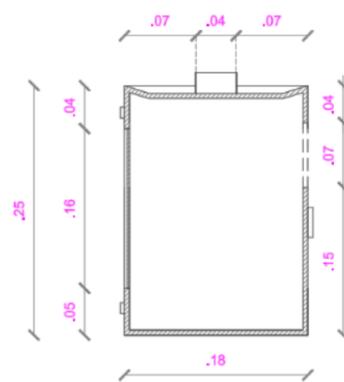
VISTA LATERAL DER.
ESCALA 1:2.5



VISTA 3D POSTERIOR
ESCALA GRÁFICA



CORTE A-A
ESCALA 1:2.5



CORTE B-B
ESCALA 1:2.5

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA



PROYECTO : "Diseño y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica, basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping"

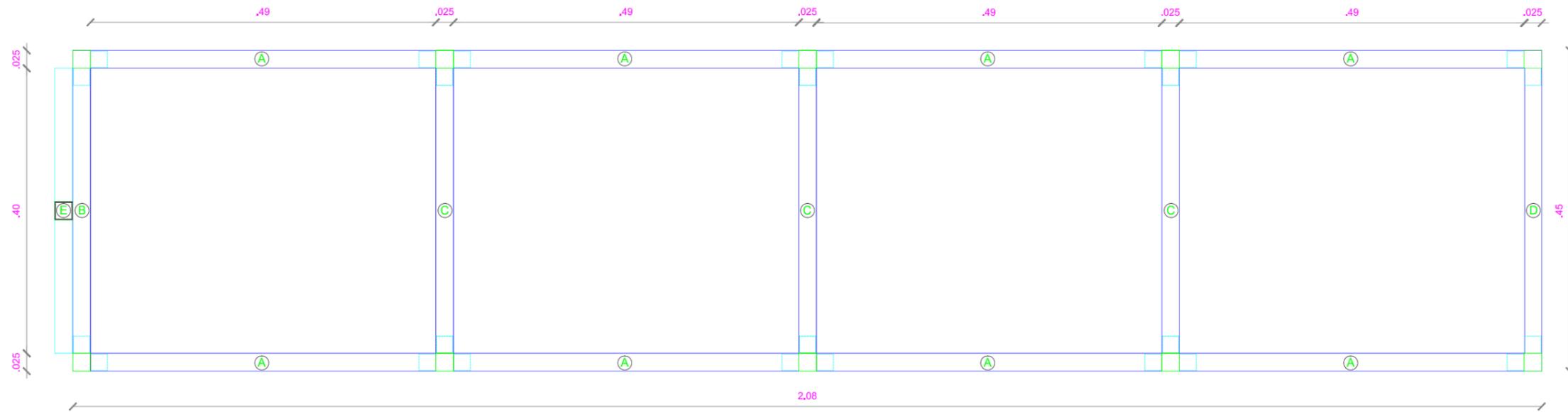
FECHA : AGOSTO/2013

ESCALA : INDICADAS

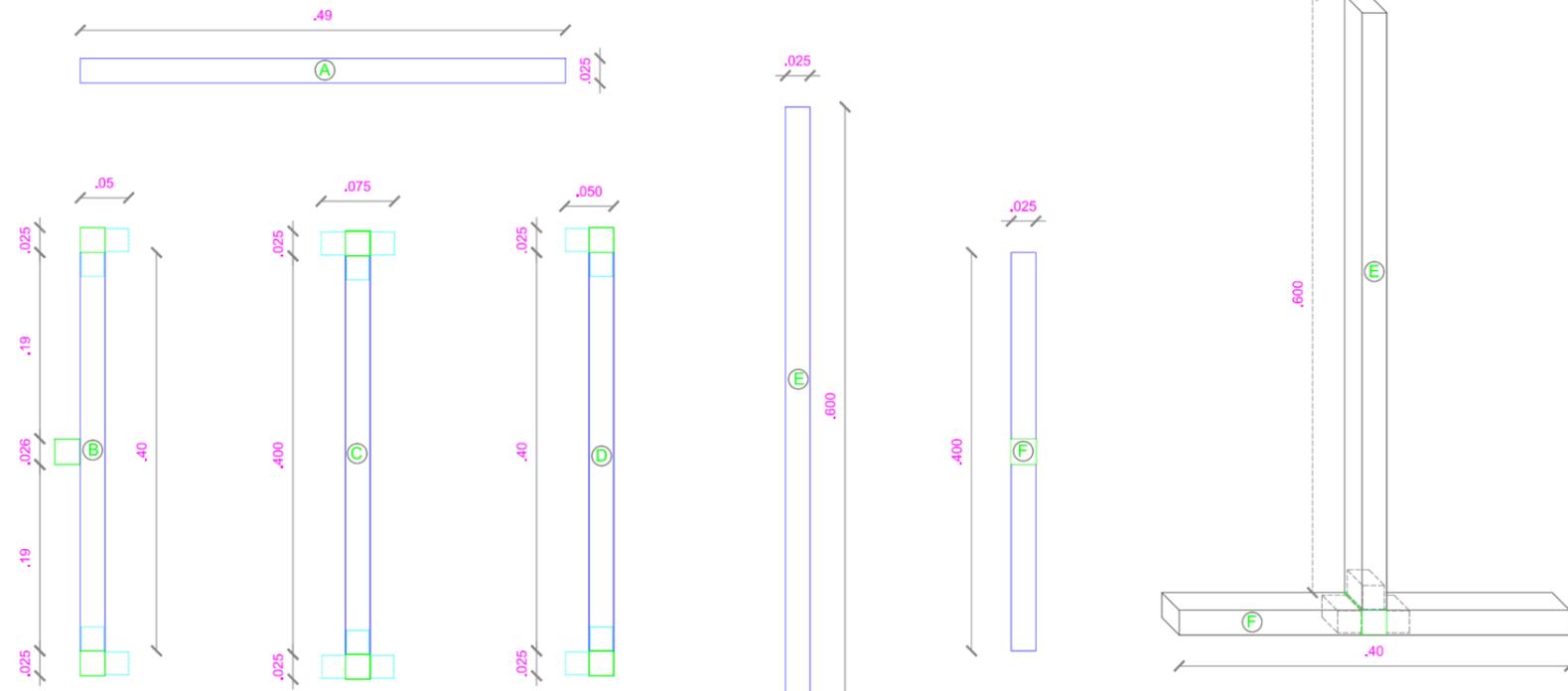
CONTIENE :
DISEÑO DEL MÓDULO PRINCIPAL DEL SISTEMA

DISEÑO :
LUIS MORALES ARCINIEGA
VICENTE QUEZADA PATIÑO
LUIS RIOFRÍO PEÑA

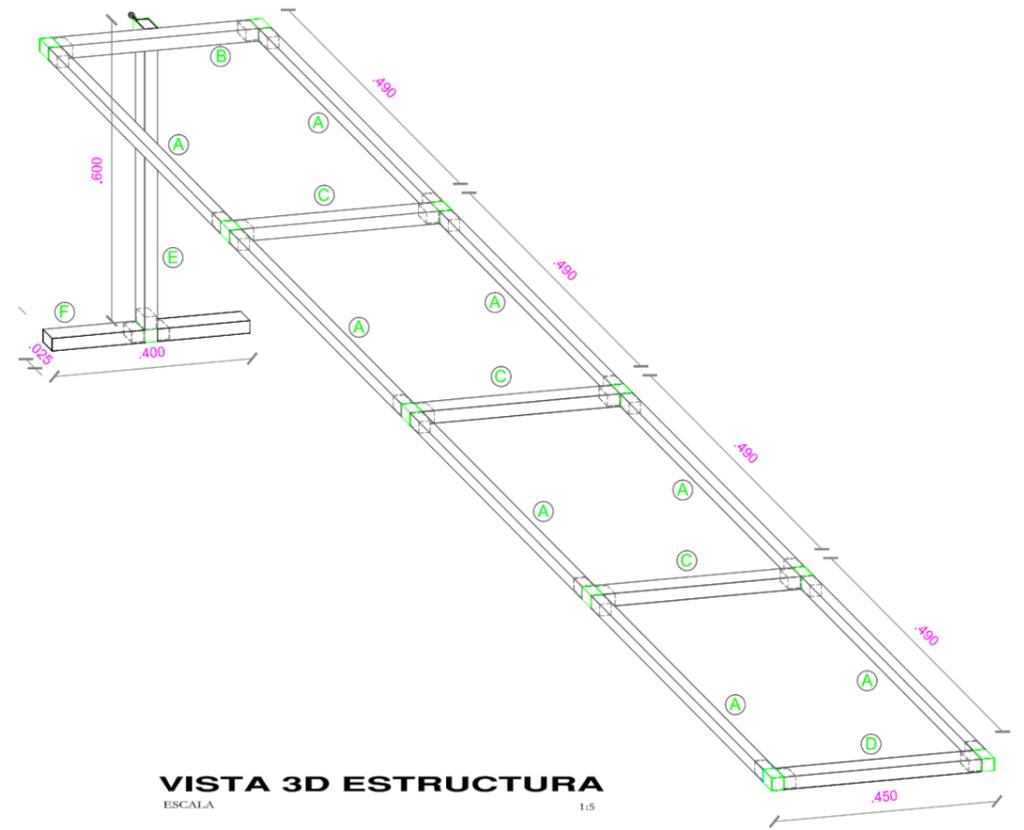
DIRECTOR DE PROYECTO :
ING. JORGE LUIS JARAMILLO



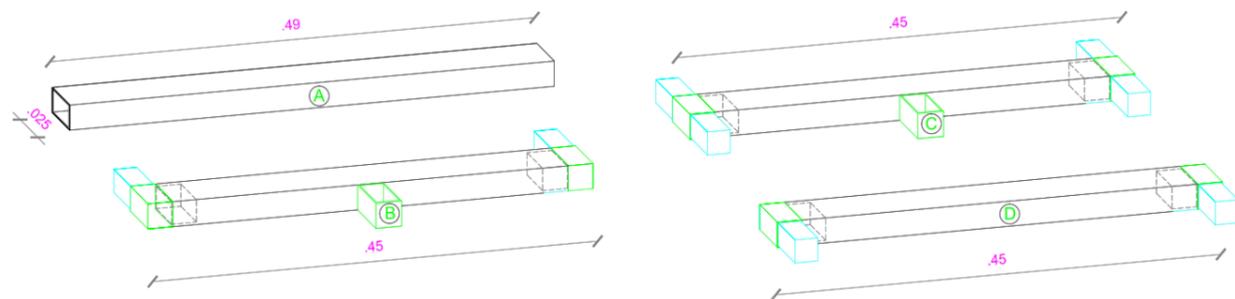
PLANTA DE ESTRUCTURA DE SOPORTE
ESCALA 1:2.5



VISTA EN PLANTA POR PIEZAS
ESCALA 1:2.5



VISTA 3D ESTRUCTURA
ESCALA 1:5



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA



PROYECTO : "Diseño y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica, basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping"

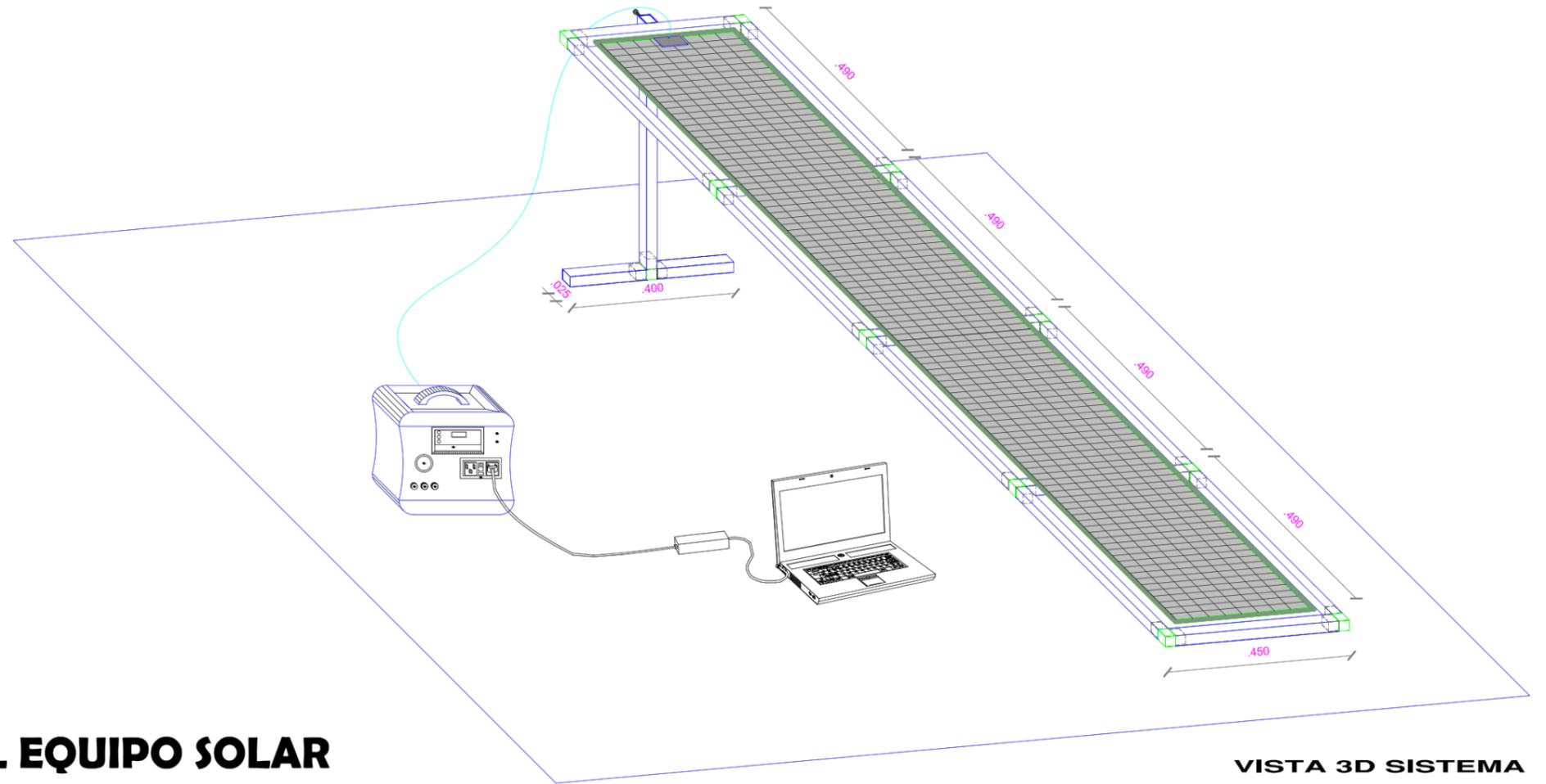
FECHA :
AGOSTO/2013

ESCALA :
INDICADAS

CONTIENE :
ADITAMENTOS ESPECIALES PARA EL EQUIPO:
ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA LÁMINA SOLAR

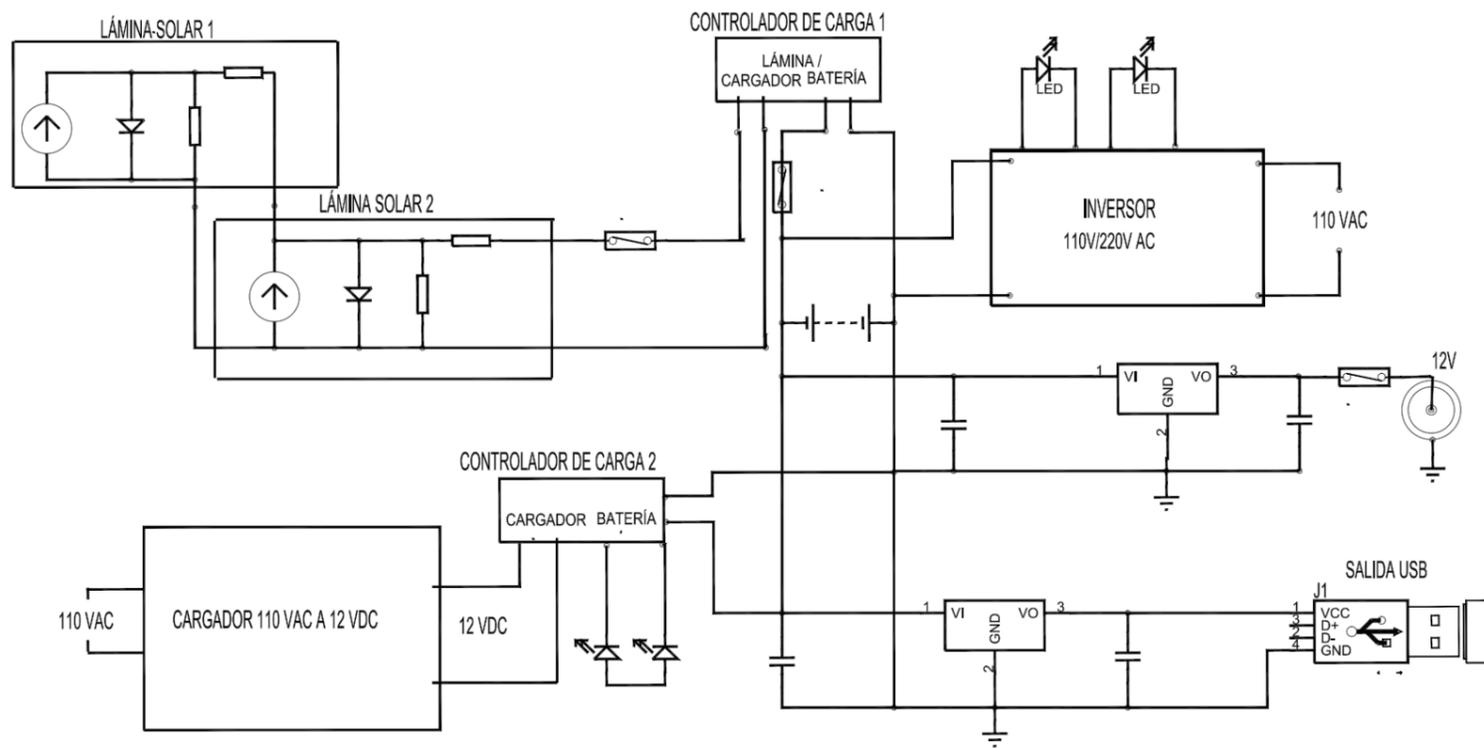
DISEÑO :
LUIS MORALES ARCINIEGA
VICENTE QUEZADA PATIÑO
LUIS RIOFRÍO PEÑA

DIRECTOR DE PROYECTO :
ING. JORGE LUIS JARAMILLO



VISTA 3D SISTEMA
ESCALA 1:5

DIAGRAMA ELÉTRICO DEL EQUIPO SOLAR



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA



PROYECTO : "Diseño y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica, basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping"

FECHA :
AGOSTO/2013

ESCALA :
INDICADAS

CONTIENE :
DIAGRAMA ELÉCTRICO Y VISTA 3D
COMPLETA DEL SISTEMA
ALIMENTANDO UNA CARGA

DISEÑO :
LUIS MORALES ARCINIEGA
VICENTE QUEZADA PATIÑO
LUIS RIOFRÍO PEÑA

DIRECTOR DE PROYECTO :
ING. JORGE LUIS JARAMILLO

3/3

ANEXO B

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN EQUIPO PORTABLE PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
BASADO EN EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR, ORIENTADO A APLICACIONES DE
CAMPING**

Diseño y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping.

#1 Luis Morales, #2 Vicente Quezada, #3 Luis Riofrío, #4 Jorge Jaramillo

#1, #2, #3 *Profesionales en formación IET, Universidad Técnica Particular de Loja*
#4 *Docente investigador SEE DCCE, Universidad Técnica Particular de Loja*
Loja, Ecuador 2013

¹lemorales@utpl.edu.ec, ²vpquezada@utpl.edu.ec, ³lariofrío@utpl.edu.ec, ⁴jorgeluis@utpl.edu.ec

Resumen — Se describe el diseño de un equipo portable para provisión de energía, con aprovechamiento de energía solar, los cálculos de ingeniería de detalle y, su proceso de fabricación e implementación, más el análisis de desempeño.

Palabras claves — aplicaciones electrónicas portables, aprovechamiento de energía solar, equipos autónomos para provisión de energía.

I. INTRODUCCIÓN

El avance y miniaturización constante de la tecnología, ha convertido a la energía en una posesión personal. Ahora es común portar algún tipo de dispositivo electrónico diseñado para ofrecer diversas prestaciones o servicios.

La portabilidad que los usuarios actuales exigen de los dispositivos y equipos electrónicos, plantea serios requerimientos de diseño en cuanto a capacidad de almacenamiento, peso, y, autonomía (en términos de disponibilidad y uso eficiente de energía). Se propone entonces que, los equipos electrónicos no sólo se alimenten de las redes eléctricas convencionales, sino que sean capaces de aprovechar la energía de otras fuentes como las renovables [1].

Una de las energías renovables con grandes avances tecnológicos en su aprovechamiento, es la energía solar. La tecnología solar es cada vez más asequible, funcional, y, milimétrica [2].

En este contexto, el desafío más importante al diseñar un equipo propio para provisión de energía aprovechando la energía solar, será reducir el peso sin afectar la capacidad de almacenamiento. En este trabajo, se describe los cálculos de ingeniería de

detalle, y, se detalla el proceso de fabricación e implementación del equipo.

Todo el proceso se ha fundamentado en tres premisas: optimizar el rendimiento del sistema, mejorar los indicadores ergonómicos del equipo, y, afianzar la portabilidad del mismo.

II. APLICACIONES SOLARES PORTABLES PARA CAMPING EXISTENTES EN EL MERCADO

En el mercado actual, se ofertan diversas aplicaciones solares portables capaces de proveer de energía eléctrica en diversas situaciones, que emplean módulos solares rígidos o flexibles. Estas aplicaciones actúan como fuentes de energía en corriente directa o alterna.

Algunas de las aplicaciones portables se diferencian por peso, tamaño, capacidad de la batería, y, potencia en el panel solar (ver Tabla 1).

Tabla 1

Análisis comparativo de las principales características técnicas de las aplicaciones para provisiones de energía, existentes en el mercado, basadas en el aprovechamiento de energía solar. [3], [4], [5], [6], [7].

Dispositivo	Potencia en el panel (W)	Capacidad de la batería (Ah)	Tamaño (Cm)	Peso (Kg)	Precio* (USD)
Escape 150	15	14	14 x 14 x 39	7.4	279.95
Yeti 150	30	14	19.7 x 14.6 x 17.1	8.35	639.99
Extreme 350	30	33	23 x 25.4 x 7.6	18.3	847.73
ECO1800 S	90	60	48.9 x 21 x 28.6	42.2	1595
Wagan EL2546 Solar	80	55	37 x 53 x 53	38.2	999.99
Yeti 1250	30	100	41.0 x 30.5 x 37.0	48	1799.95

* Precios referenciales en los Estados Unidos

Se muestra claramente una relación directa entre la capacidad de la batería (la potencia del equipo), y, el peso y tamaño de la aplicación. En este contexto, el desafío más importante al diseñar una aplicación propia será encontrar un equilibrio adecuado entre las tres variables, apuntando a la reducción del peso sin afectar la capacidad de almacenamiento.

En este contexto, el desafío más importante al diseñar un equipo propio para provisión de energía a campistas, aprovechando la energía solar, será reducir el peso sin afectar la capacidad de almacenamiento.

III. DISEÑO DEL EQUIPO

En este apartado se seleccionó un modelo referencial para el diseño del equipo requerido, se aproximó el significado de los parámetros básicos más importantes, y se realizó la preselección de elementos.

A. Modelo referencial seleccionado

En el marco de este proyecto, se decidió adoptar como modelo referencial para el diseño requerido, al equipo comercial Yeti150, fabricado por GoalZero (ver Fig. 1). La selección de este equipo se basó en el peso y volumen ya que facilitan la portabilidad mientras que, la potencia de salida es suficiente para conectar dispositivos de consumo moderado (iluminación, radio, GPS, entre otros), con una aceptable autonomía de provisión.



Fig. 1. Kit Yeti150 de GoalZero. Disponible en: <http://www.goalzero.com/yeti150/>

El equipo ha sido diseñado para utilizarse en campamentos, cabañas, y, en trabajos remotos en regiones sin provisión de energía desde redes convencionales. El equipo se carga a través de paneles solares, o, directamente de una red convencional. El equipo entrega energía en AC a 110V, en DC a 12V, y, posee una salida USB [3]. Las características técnicas más importantes del equipo se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2
Características técnicas del kit Yeti150 [2]

Tipo de batería	Ácido plomo (AGM)
Capacidad de batería	150Wh (12V, 14Ah)

Tabla 2
Características técnicas del kit Yeti150. Continuación ... [2]

Puertos de entrada	Puerto de carga 15-29VDC, 5A máx.
Puertos de salida	Puerto universal AC 110V-220V
	Puerto USB 5V, 2A.
	Puerto 12V
Tiempo aproximado de carga	Enchufe de pared (4 horas)
	Panel solar NOMAD 13 (5 a 10 horas)
Peso	5.4 Kg
Dimensiones	0.197 x 0.146 x 0.171 m

B. Arquitectura propuesta para el equipo a diseñar

Se propuso que el equipo a diseñar conste de 4 bloques: bloque de carga del sistema ya sea por la captura de energía solar a través de láminas solares o utilizando la red eléctrica pública mediante el cargador de pared, 2 reguladores de carga de la batería, storage, e, interface de usuario (ver Fig.2).

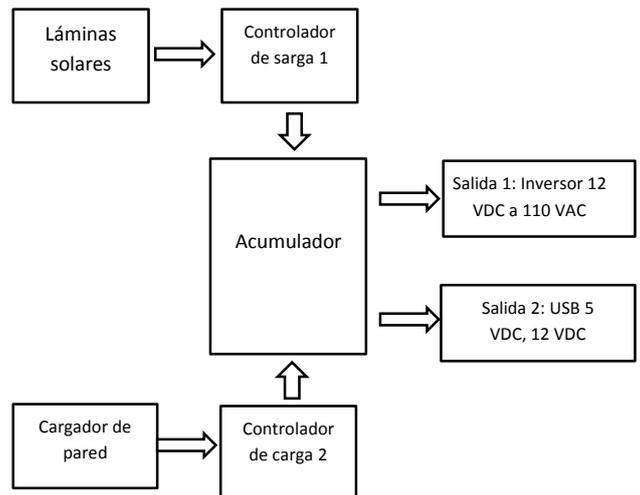


Fig. 2. Arquitectura corregida del sistema. Elaborado por los autores.

La energía solar se captura a través de láminas solares flexibles (livianas), con lo que se consigue mejorar la portabilidad de toda la aplicación. Un controlador gestiona la carga de la batería, ya sea desde las láminas solares o desde el cargador de pared. La energía capturada o provista por la red, se almacena en una batería. La interface de usuario, presenta dos módulos: entrega de energía y conectividad. En el módulo de entrega de energía, la interface de usuario proporciona 2 salidas de AC a 110V, un conector USB, y, 1 salida AD a 12V. La conversión AD en AC se logra en un inversor (ver Fig.3). El módulo de conectividad contiene dos puertos para conexión de las láminas solares, un puerto de entrada para conexión a la red convencional, y, un puerto para ampliar la capacidad de la aplicación a través de la conexión de un segundo equipo.



Fig. 3. Diagrama corregido de bloques del sistema. Elaborado por los autores.

C. Dimensionamiento de los bloques del equipo

Sobre las láminas solares a utilizar

En este proyecto se decidió utilizar láminas solares fabricadas por PowerFilm, debido a su existencia entre los activos de la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL. A diferencia de los paneles convencionales, las láminas solares se doblan y son livianas, lo que mejora sustancialmente la portabilidad (ver Fig. 4) [8]. Las características técnicas más importantes de las láminas solares a utilizar, se resumen en la Tabla 3.



Fig. 4. Panorámica de una lámina solar PowerFilm lista para su transporte. Disponible en: <http://www.powerfilmsolar.com/>

Tabla 3

Principales características técnicas de las láminas solares PowerFilm empleadas en este proyecto [8].

Modelo	Power Film 28 Watt Rollable Solar Charger
Voltaje de operación	15 V
Corriente de operación	1.8 A
Peso	0.816 Kg
Dimensión enrollado	36.83 cm
Dimensión abierto	36.83 cm x 202.5 cm

Las láminas solares disponibles se pueden conectar en paralelo o en serie. Considerando que las baterías comerciales operan comúnmente a 12V y 24V, se decidió montar el esquema eléctrico en 12V y conectar las láminas en paralelo, con lo que aumenta la corriente eléctrica disponible para la carga, y, se reduce el tiempo de carga.

Sobre la carga a alimentar

Para dimensionar la carga a alimentar, se consideró 2 regímenes de trabajo del equipo: provisión a un almacén mínimo de dispositivos, y, provisión a un computador u otras cargas AC.

En el régimen de provisión a un almacén mínimo, se seleccionó un grupo de dispositivos de uso común en camping (u otras actividades) y de consumo de energía moderado: celular, lámpara LED, GPS, y, una radio. La Tabla 4 resume los valores típicos de voltaje y amperaje de los dispositivos seleccionados, mientras que la Tabla 5 muestra el requerimiento diario de potencia de todo el almacén.

Tabla 4

Características de amperaje, voltaje, y, potencia requerida del almacén mínimo de dispositivos a alimentar. Elaborado por los autores.

Dispositivo	I típica, mA	V típico, V	Consumo típico, W
Celular	700	5	3,5
Radio	350	9	3,15
Lámparas LED	840	12	10,08
GPS	350	5	1,75
TOTAL			16,50

Tabla 5

Requerimiento diario de potencia del almacén mínimo de dispositivos a alimentar (Pd). Elaborado por los autores.

Dispositivo	Unidades	Consumo, W	Uso diario estimado, h	Total energía requerida, Wh/día
Celular	1	3,5	1	3,50
Radio	1	3,15	10	31,50
Lámpara LED	2	10,08	8	80,64
GPS	1	1,75	1	1,75
TOTAL				117,39
más el 25% de reserva				146,73

El consumo diario de potencia del equipo (E_d), se calcula a través de la expresión (1), considerando las cargas conectadas y el rendimiento de los elementos del equipo. La bibliografía sugiere considerar una eficiencia del 95% para el regulador, y, del 90% para el inversor [9].

$$E_d = \frac{P_d}{\eta_{reg} \cdot \eta_{inv}} \quad (1)$$

En dónde,

E_d , es el consumo diario de potencia del equipo, Wh/día
 P_d , es el requerimiento diario de potencia del almacén mínimo de dispositivos a alimentar, Wh/día
 η_{reg} , es la eficiencia del regulador, %
 η_{inv} , es la eficiencia del inversor, %

$$E_d = \frac{146,73}{0,95 * 0,9}$$

$$E_d = 171,61 \text{ Wh/día}$$

Este mismo consumo diario de energía, se espera para el *régimen de provisión de energía a un computador u otras cargas AC*. Se planteó que el equipo opera en uno de los regímenes a la vez.

Sobre el inversor a utilizar

Para garantizar la operatividad del equipo en el régimen de provisión de energía a un computador u otras cargas AC, se requiere de un inversor. Para la selección del inversor, se considera que la potencia de salida sea al menos igual a la demanda total en AC, y, que el inversor opera en 110V [10]. La potencia de salida del inversor se calcula a través de la ecuación (2):

$$P_{inv} = \frac{P_d}{\text{Eficiencia del inversor}} \quad (2)$$

$$P_{inv} = \frac{146,73}{0,9}$$

$$P_{inv} = 163,03 \text{ Wh/día}$$

Sobre la batería a utilizar

En dónde,

C_n , es la capacidad de la batería, Ah
 E_d , es el consumo diario de potencia del equipo, Wh/día

El dimensionamiento de la batería considera la capacidad de almacenamiento, la profundidad de descarga, la autonomía, y, la capacidad útil [10].

La capacidad de almacenamiento de la batería, se calcula con ayuda de (3):

$$C_{alm. bat} = \frac{E_d}{V_s} \quad (3)$$

En dónde,

$C_{alm. bat}$, es la capacidad de almacenamiento de la batería, Ah/día
 E_d , es el consumo diario de potencia del equipo, Wh/día
 V_s , es el voltaje de operación del sistema, V

$$C_{alm. bat} = \frac{171,61 \text{ Wh/día}}{12V}$$

$$C_{alm. bat} = 14,30 \text{ Ah/día}$$

De acuerdo a [9], la profundidad de descarga PD, es la carga eléctrica que puede ceder la batería en determinadas condiciones, y, que se expresa en un tanto por ciento de su capacidad. Las descargas excesivas reducen la vida útil de la batería, razón por la cual se limita la máxima profundidad de descarga PD_{max} . La bibliografía [9] sugiere una PD_{max} de 0,6 a 0,8 para acumuladores estacionales de alto volumen de electrolito; de 0,5 a 0,6 para acumuladores tipo monobloc; y, de 0,3 a 0,5 para baterías de automóvil.

De acuerdo a [9], se denomina autonomía A de la batería, al máximo número de días secuenciales en que, la instalación es capaz de satisfacer el consumo de electricidad en condiciones completamente desfavorables, es decir, a partir de la energía acumulada en la batería sin captura de energía en las láminas. Considerando la opción de recargar la batería desde una red convencional, se decidió que el equipo maneje una autonomía de 1 día. Conociendo la autonomía, se calcula la capacidad de la batería C_n a través de la expresión (4):

$$C_n = \frac{1,1 * E_d * A}{V * PD_{máx}} \quad (4)$$

PD_{max} , es la profundidad máxima de descarga de la batería, %
 V , voltaje de operación de la batería, V

$$C_n = \frac{1,1 * 171,61 \text{ Wh/día} * 1}{12 * 0,8}$$

$$C_n = 19,66 \text{ Ah}$$

De acuerdo a [9], la capacidad útil C_u de la batería, es la capacidad utilizable en función de la profundidad de descarga máxima disponible. La capacidad útil de la batería se expresa en Ah, y, se calcula con ayuda de (5):

$$C_u = C_n * PD_{\text{máx}} \quad (5)$$

$$C_u = 19,66 * 0,8$$

$$C_u = 15,728 \text{ Ah}$$

Sobre el controlador de carga

De acuerdo a [9], el controlador de carga se selecciona por la potencia máxima de las láminas solares. La potencia máxima del arreglo de láminas es de 56 W, a 15 V. Entonces, se requiere de un controlador que opere con corrientes mayores a 3,8 A.

Sobre la ubicación de las láminas solares

Utilizando los recursos del software Sketchup (ver Fig. 5), se simuló el posible acoplamiento de las láminas solares a una carpa de acampar, en 3 casos: lámina solar acoplada a la carpa con cierto ángulo (izquierda de la Fig. 6), lámina solar apoyada sobre la carpa (centro); y, lámina solar colocada de manera cóncava sobre la carpa (derecha).

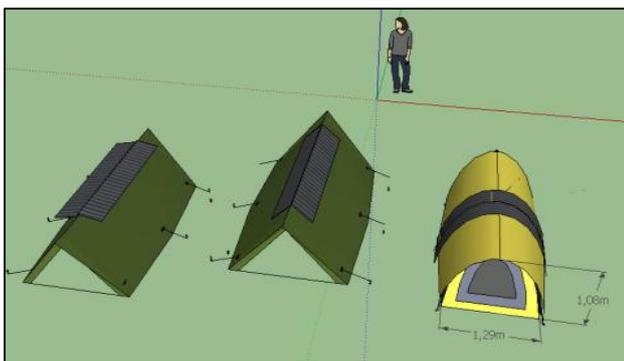


Fig. 5. Simulación del acoplamiento de las láminas solares en carpas de acampar. Diseño de los autores

Para seleccionar la mejor ubicación posible, se revisó la bibliografía [11], y, se encontró la recomendación respecto a que las láminas solares instaladas en el hemisferio sur se orienten hacia el norte, y, que la inclinación de las láminas responda a la latitud (ver Tabla 6).

Tabla 6

Inclinación requerida de los módulos PV en función de la latitud [6].

Latitud	Ángulo invierno	Ángulo verano
0 al 5 grados	15 grados	15 grados
15 a 25 grados	Latitud	Latitud

Tabla 6

Inclinación requerida de los módulos PV en función de la latitud [6]. Continuación ...

20 a 25 grados	Latitud + 5 grados	Latitud - 5 grados
30 a 35 grados	Latitud + 10 grados	Latitud - 10 grados
35 a 40 grados	Latitud + 15 grados	Latitud - 15 grados
más de 40 grados	Latitud + 20 grados	Latitud - 20 grados

Con la intención de verificar el desempeño de las láminas solares en la zona de Loja, se decidió medir el voltaje y la corriente de la lámina, en un clima despejado (ver Fig. 6). Los resultados obtenidos (ver Tabla 7) mostraron que el mejor desempeño de las láminas solares se registra en los 15° de inclinación. En base a esto, se decidió que la lámina solar debería ser desplegada sobre un soporte metálico desmontable y portable, que garantice la inclinación requerida.



Fig. 6. Instalación de verificación del desempeño de las láminas solares en la latitud de Loja. Fotografía de los autores.

Tabla 7

Desempeño de la lámina en diferentes posiciones.

Posición de la lámina solar	Voltaje, V	Amperaje, A
Horizontal	21,37	1,92
15° de inclinación	22,95	2,41
Cóncava	20,96	1,80

IV. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO

A. Sobre el régimen extendido de funcionamiento del equipo

En la etapa de diseño, se decidió que todos los componentes electrónicos del equipo se ubicarían en un módulo único, cuya fabricación se describe en este trabajo. A este módulo se llamará módulo principal.

Considerando que, en algún momento, el usuario podría requerir alimentar una mayor carga, se decidió ampliar la capacidad de provisión de energía, a través de la conexión al módulo principal de un segundo módulo, que contendrá una batería adicional. A este régimen de trabajo se lo denominará *régimen extendido*.

B. Sobre la batería

Considerando la naturaleza de la carga a alimentar, en el diseño se estableció que el equipo debería aportar 171,61Wh/día, que implica entregar 14,30 Ah/día a través de una batería de 12V.

Considerando que la autonomía del equipo será de 1 día, y, que la máxima profundidad de descarga será de 0,8, se determinó que se requiere de una batería de 19,66Ah de capacidad.

Al analizar la capacidad de algunas de las baterías existentes en el mercado, se decidió optar por una estándar de 18Ah. En función de la profundidad de descarga permitida, la capacidad útil de la batería sería de 14,4Ah, suficiente para cubrir los 14,3 Ah/día para los cual fue dimensionado el equipo.

Por otra parte, considerando la aplicación final del equipo (camping), la batería a seleccionarse debe ser libre de mantenimiento, y, con un ciclo de descarga muy profundo. En este contexto, se decidió utilizar baterías con tecnología AGM, que cumplen con las características requeridas [12], y, además son resistentes al clima frío, y, tienen la eficiencia más alta entre todas las baterías de plomo (95%).

La Tabla 8 muestra las características técnicas más importantes de 3 baterías AGM existentes en el mercado, y, que cumplen los requerimientos de voltaje y amperaje.

Tabla 8

Principales características técnicas de baterías AGM existentes en el mercado local [13], [14], [15].

Batería AGM	6FM18	SLA T3	LFX21L6-BS12
Capacidad (Ah)	18	20	21
Voltaje (V)	12	12	12
Peso (kg)	5,7	5,7	1,37
Dimensiones (cm)	18,1x7,7x16,7	7,15x3x6,59	14,8x8,2x14
Precio (USD)	68	200	240

Al momento de seleccionar la batería, en condiciones técnicas similares, los elementos discriminadores serán la relación peso / volumen y el costo. La selección final recayó en la batería visión 6FM18-X (ver Fig. 7).



Fig. 7. Vista frontal de una batería tipo vision 6FM18-X 12V 18Ah. Disponible en: <http://www.powerplace.com.ec>

C. Sobre el inversor

La selección del inversor se basará en la premisa de que la potencia de salida del componente, debe corresponder a la demanda total en corriente alterna de la carga del equipo. En el diseño se estableció que la demanda total AC de la carga, sería del orden de 163,03Wh/día.

Por cuanto en el régimen extendido de trabajo, se duplicará la capacidad de storage del equipo, se decidió optar por un inversor de potencia de salida, equivalente al doble de lo estimado (326,06W). La Tabla 9 describe las características técnicas más importantes de 3 inversores disponibles en el mercado, que cumplen con la potencia requerida.

Tabla 9

Principales características técnicas de inversores disponibles en el mercado local. [16], [17], [18]

Inversor	Wagan Inverter	CPI 480	PV375
Potencia (W)	400	400	375
Puertos de salida	2 puertos 110VAC	2 puertos 110VAC	2 puertos 110VAC
	2 puertos USB	1 puerto USB	-
Peso (kg)	0,65	0,45	1
Dimensiones (cm)	12,5x10x5	16x10,5x6,5	5.1x10.8x17.7
Precio (USD)	75	60	75

Se decidió emplear el inversor CPI 480 (ver Fig. 8), por su reducido peso y precio accesible. La hoja de datos técnicos del inversor, señala que la eficiencia del componente es del 83%, inferior al 90% previsto en la fase de diseño. Sin embargo, se espera que este cambio no afecte el desempeño final del equipo.



Fig. 8. Cobra CPI 480 Disponible en: https://cobra.com/Manuals/CPI480_MANL.pdf

D. Sobre el control de carga de la batería

En este proyecto, se ha previsto cargar la batería desde las láminas solares, o, desde un cargador de pared.

Desde las láminas solares

La potencia máxima del arreglo de láminas será de 56W, operando en 15V, por lo que se ha proyectado el

uso de un controlador capaz de soportar corrientes mayores a 3,73A.

En el modo extendido de funcionamiento del equipo, el controlador debería soportar al menos 10,2A (la corriente máxima admitida por la batería seleccionada es de 5,1A). Por otra parte, como estrategia para reducir el tiempo de carga de la batería se propuso prever la conexión a láminas o paneles fotovoltaicos de mayor capacidad, lo que aumentaría la corriente de carga de la batería, por lo que se requiere de un controlador de mayores prestaciones.

Al analizar los controladores de carga ofertados en el mercado, se detectó que la oferta coincide en prestaciones y costos, por lo que la selección se basó en las características geométricas y en la interface física, de cara a acoplar el controlador al módulo. La selección recayó en el controlador Sunforce que soporta los 10A requeridos (Ver Fig. 9).



Fig. 9. Interface física del controlador Sunforce de 10A de carga. Disponible en: http://www.sunforceproducts.com/product_details.php?PRODUCT_ID=152

Desde el cargador de pared

En el marco de este proyecto se propuso que el equipo también pueda ser cargado desde la red eléctrica pública, a través de un cargador de pared, utilizando un segundo controlador de carga a fin de aislar los subsistemas de carga del equipo.

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la batería seleccionada, la máxima corriente de carga soportada es de 5,1A, y, el voltaje de carga recomendado es de 14,4V. Considerando que el controlador de carga consume entre el 5 y el 10% del voltaje de entrada, se decidió que el voltaje del cargador de pared sea mayor a 16V. Ya que en la bibliografía [19], se recomienda que el amperaje de carga de una batería sea aproximadamente el 10% de su capacidad total (1,8A en este caso), se seleccionó un cargador de pared genérico, de 19,5V de voltaje de carga y de 2A de corriente (Ver Fig. 10).



Fig. 10. Cargador de pared genérico seleccionado para el proyecto.

Para la selección del segundo controlador de carga, se consideró que este debía soportar la carga entregada por el cargador de pared (2A). Ante la dificultad de encontrar en el mercado un controlador de carga que se ajuste a los requerimientos planteados, se decidió seleccionar un controlador de carga Sunforce de 7A, lo más cercano a lo requerido (ver Fig. 12).



Fig. 11. Interface física del controlador de carga 7A. Disponible en: http://www.sunforceproducts.com/product_details.php?PRODUCT_ID=56

V. ESQUEMAS FINALES DEL EQUIPO

A. Esquema mecánico

Una vez realizada la selección de componentes para el equipo, se procedió con el diseño mecánico del módulo para garantizar que cada uno de los elementos pudiera acomodarse sin problema en su interior (ver Fig. 12 a 17).

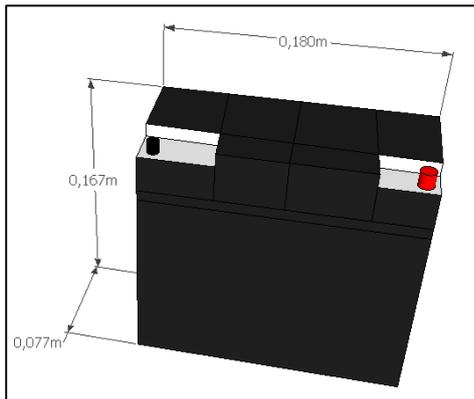


Fig. 12. Modelo 3D de la geometría de la batería seleccionada. Elaborado por los autores.

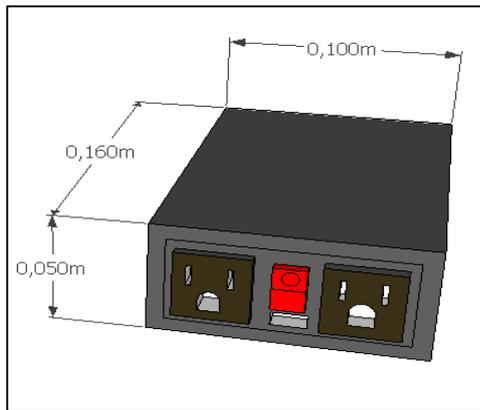


Fig. 13. Modelo 3D de la geometría del inversor seleccionado. Elaborado por los autores.

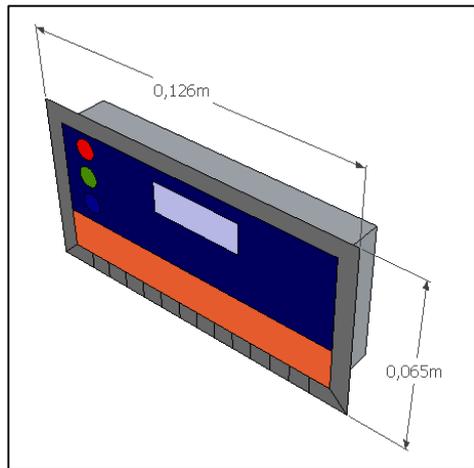


Fig. 14. Modelo 3D de la geometría del regulador de carga de 10A. Elaborado por los autores



Fig. 15. Vista frontal y geometría del módulo a construir. Elaborado por los autores.

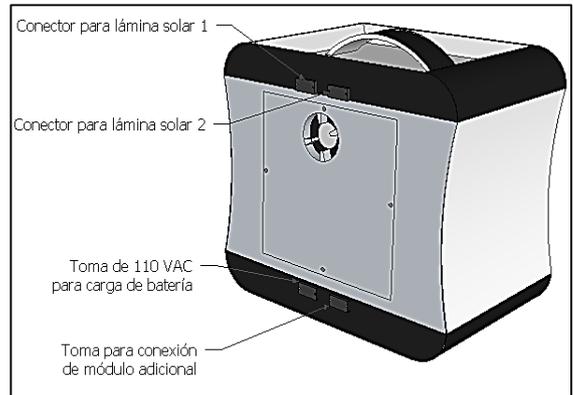


Fig. 16. Vista posterior del módulo a fabricar. Elaborado por los autores.

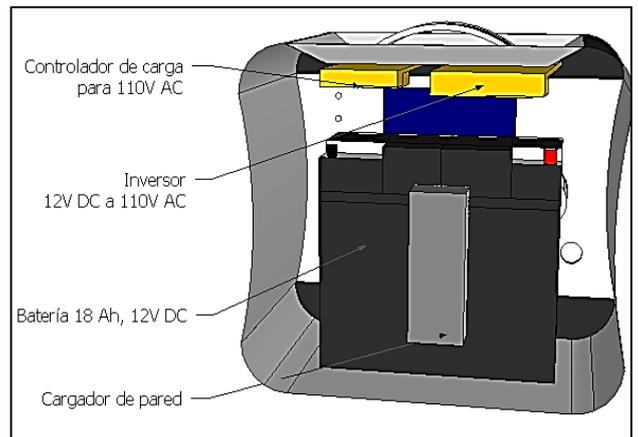


Fig. 17. Distribución de los componentes al interior del módulo. Elaborado por los autores.

B. Esquema eléctrico

La Fig. 18 muestra el esquema eléctrico general, del sistema a fabricarse.

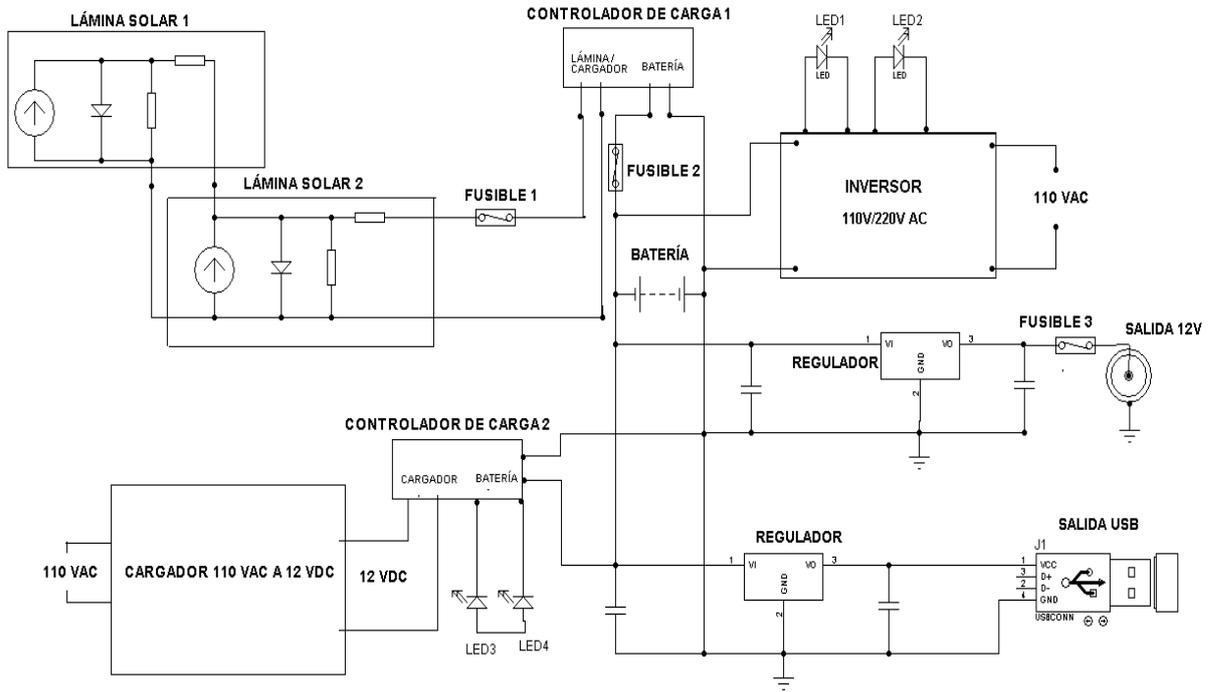


Fig. 18. Esquema eléctrico general corregido del equipo. Diseño de los autores.

VI. DISEÑO DE ADITAMENTOS ESPECIALES PARA EL EQUIPO

Adicionalmente al módulo, se diseñó una estructura de soporte para las láminas solares. El ángulo de inclinación del soporte puede variar entre 0 a 16°, con un ángulo recomendable de 10° [21].

La estructura de soporte fue diseñada para fabricarse con tubo de aluminio cuadrado (de 2,5cm de lado), y, para unirse con accesorios plásticos:

- 1 pieza de 60 cm de largo, para soporte y variación del ángulo de inclinación de la lámina
- 8 piezas de 49 cm de largo, que se conectarán entre sí, para completar los 2 m de longitud requeridos para estirar completamente la lámina
- 5 piezas de 40 cm, para interconexión
- 1 pieza de 40 cm, para soporte

Para transporte, el set de elementos de la estructura se acomoda en un área de 14 x 17 cm (ver Fig. 19). La Fig. 20 muestra la estructura extendida. La Fig. 21 muestra la forma de sujetar la lámina a la estructura, y, la Fig. 22 presenta una vista general de la estructura fabricada.

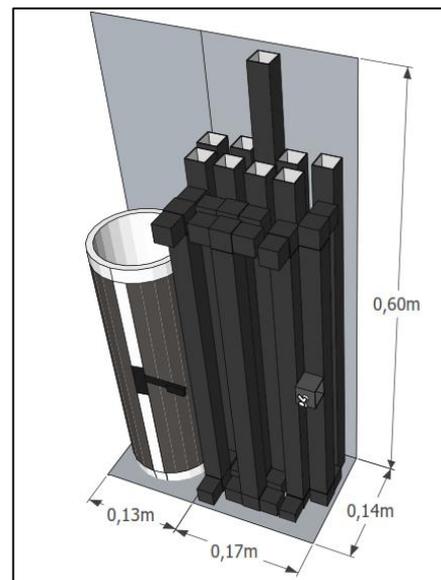


Fig. 19. Arreglo del set de componentes de la estructura de soporte de la lámina, para transporte. Elaborado por los autores.



Fig. 20. Geometría de la estructura de soporte de la lámina solar. Elaborado por los autores.

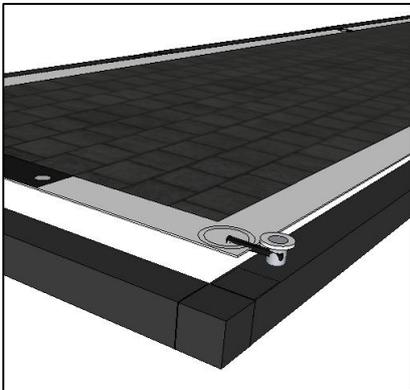


Fig. 21. Detalle de sujeción de la lámina solar a la estructura de soporte. Elaborado por los autores.



Fig. 22. Estructura para soporte de la lámina solar, fabricada en aluminio. Fotografía de los autores.

VII. FABRICACIÓN DEL MÓDULO CENTRAL DEL EQUIPO

Por cuanto el equipo será utilizado para camping, este deberá ser capaz de soportar altos niveles de humedad, y, polvo. De acuerdo al estándar internacional IEC 60529, se decidió recomendar un índice de protección IP63 [22].

Por otra parte, el equipo deberá tener un montaje compacto, sólido, y, liviano. En este contexto, se decidió instalar los elementos del equipo en una estructura tipo caja, fabricada de fibra de vidrio, y, revestida en su interior con pintura batida de piedra para mayor resistencia mecánica. La caja se cerrará con una tapa, ajustada adecuadamente

Su proceso de fabricación se dio en un proceso de 5 etapas, enfocado en proporcionar la resistencia mecánica requerida para albergar a los componentes del sistema, y, garantizar el cumplimiento del IP63 planteado en los requerimientos.

A. Etapa 1: fabricación del molde de malla

En base al modelo diseñado en SketchUp, se procedió a fabricar un molde de malla de alambre, con un espesor de alambre de 1,5mm y una luz de malla de 1cm [20]. Este molde servirá de soporte para la colocación de la fibra de vidrio (Fig. 23).



Fig. 23. Molde de malla de alambre. Fotografía de los autores.

Para reforzar el molde, se colocó alrededor de él, un anillo de lámina metálica negra, de 0,9mm de espesor (ver Fig. 24).



Fig. 25. Anillo de lámina metálica negra, para reforzar el molde. Fotografía de los autores.

B. Etapa 2: colocación de la fibra de vidrio

Una vez armado el molde, se cortó la fibra de vidrio en segmentos, con la intención de colocar sobre el molde, una cara a la vez. Colocada la fibra, se procedió a preparar la mezcla de resina, catalizador, y acelerante. La mezcla se aplicó con brocha sobre la fibra, empezando por el interior del molde. Entre cada aplicación, se dejó secar la mezcla 30 minutos aproximadamente. Las Fig. 25 a la 29, muestran algunos momentos de este proceso.



Fig. 25. Colocación de la fibra de vidrio en el interior del molde. Fotografía de los autores.



Fig. 26. Preparación de resina, catalizador, y acelerante. Fotografía de los autores.



Fig. 27. Aplicación de la mezcla sobre la fibra. Fotografía de los autores.



Fig. 28. Colocación de la fibra de vidrio en el exterior del molde. Fotografía de los autores.



Fig. 29. Aplicación de la mezcla sobre la fibra en el exterior del molde. Fotografía de los autores.

C. Etapa 3: acabado del molde

Una vez seca la mezcla, se procedió a dar un acabado al molde con el fin de eliminar imperfecciones. Para esto, se lijó la fibra, se colocó masilla plástica, y, se

pulió. Los orificios requeridos en el módulo se realizaron antes del masillado del molde (ver Fig 31 a la 35).



Fig. 30. Lijado del molde. Fotografía de los autores



Fig. 31. Lijado del molde. Cara posterior. Fotografía de los autores.



Fig. 32. Ubicación de prueba de los componentes en la vista frontal. Fotografía de los autores.



Fig. 33. Ubicación de prueba de los componentes en la vista interior. Fotografía de los autores.



Fig. 34. Masillado del molde. Cara posterior. Fotografía de los autores.

D. Etapa 4: pintado del molde

Una vez completó el masillado del molde, se aplicó pintura externa, y, en los bordes del molde se aplicó una capa de autoforce (ver Fig. 35 y 36).



Fig. 35. Aplicación del fondo en el molde. Fotografía de los autores.



Fig. 36. Molde pintado y con autoforce en sus bordes. Fotografía de los autores.

E. Etapa 5: instalación de componentes

El equipo ha sido diseñado para camping, por lo que deberá proporcionar un IP63. Para lograrlo, se aplicó autoforce (al interior del módulo, y, a los bordes del exterior), y, sikaflex (en los bordes de todos los componentes). Adicionalmente, en la cara posterior se colocó un empaque de caucho (ver Fig. 37).



Fig. 37. Empaque de caucho aplicado en la tapa del equipo. Fotografía de los autores.

Los circuitos correspondientes al inversor y al controlador de carga del cargador de pared, se encuentran acoplados a la cara superior del módulo. El controlador de carga de las láminas solares está ajustado sobre la cara frontal, así como también, el puerto de cigarrera, fusibles, e, interface del inversor.

La batería está ubicada en la base del módulo, sobre el anillo de lámina metálica negra, y, junto a ella, el cargador de pared. La batería se sujeta al módulo mediante una correa de metal (ver Fig. 38).



Fig. 38. Ubicación de la batería y del cargador de pared. Fotografía de los autores.

Para el etiquetado del equipo fabricado, se utilizó el software Adobe Illustrator CS5, y, se imprimió en el plotter Graphtec FC8000. Las Fig. 39, 40, y, 41, muestran el equipo una vez fabricado y etiquetado.



Fig. 39. Módulo principal del equipo solar, vista isométrica. Fotografía de los autores.



Fig. 40. Módulo principal del equipo solar. Cara frontal, con etiquetas. Fotografía de los autores.



Fig. 41. Módulo principal del equipo solar. Cara posterior, con etiquetas. Fotografía de los autores.

VIII. BREVE REFERENCIA SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

En este apartado, se analizó el cumplimiento de ciertas recomendaciones constructivas del sistema implementado, en correspondencia a sistemas de similares prestaciones existentes en el mercado.

A. Sobre el índice de protección

A partir de las especificaciones de fabricación del módulo principal, y, de acuerdo a lo descrito en [21], se pudo establecer que el sistema implementado cumple con un índice de protección equivalente a IP63; es decir, que posee protección total contra la penetración de cualquier cuerpo sólido (polvo) y la caída de gotas de agua con un ángulo de hasta 60° con respecto de la vertical, desde cualquier dirección.

B. Sobre el peso

De acuerdo a las normas para manipulación de cargas del Ministerio de Trabajo e Inmigración y del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo, de España [23], el peso es uno de los factores principales al evaluar el riesgo de manipulación manual de una carga. La norma discrimina el peso en función de la altura sobre la que se porta. Para una carga transportada a la altura correspondiente al segmento entre codo y los nudillos de la mano de un brazo extendido, el peso máximo recomendado es de 25Kg para hombres mayores de 18 años, y, 15 Kg para menores de 18 años o mujeres.

Tabla 11
Distribución del peso en el módulo principal del sistema implementado

COMPONENTE	PESO
Batería	5,70 Kg
Inversor	0,56 Kg
Controlador de carga del panel	0,40 Kg
Controlador de carga del tomacorriente	0,09 Kg
Fusibles, ventilador, cigarrera	0,20 Kg
Peso de la carcasa	2,00 Kg
TOTAL	8,95Kg

El módulo principal del sistema implementado, tiene un peso aproximado de 9Kg (ver Tabla 11). El peso total del sistema se consigue al adicionar el peso de la lámina solar y del soporte, obteniendo como resultado 11Kg, por lo que se puede afirmar que cumple con la recomendación de la norma.

C. Sobre prestaciones operativas del sistema

La Tabla 12 permite realizar un análisis comparativo de las prestaciones del sistema implementado, respecto a las características del equipo comercial Yeti

150, adoptado como modelo referencial para este proyecto.

Tabla 12
Comparativa entre las prestaciones del equipo comercial referencial y el sistema fabricado

Características	Yeti 150	Sistema implementado
Capacidad de la batería	14Ah	18Ah
Potencia de salida	168Wh	216Wh
Puertos de entrada	Puerto de carga 14-29V DC, 5A máx.	Puerto de carga lámina solar 15-24V DC, 5A máx.
Puertos de salida	Puerto universal AC 110V-220V	2 Puertos AC 110V
	Puerto USB 5V, 2A.	Puerto USB 5V, 2A.
	Puerto 12V	Puerto 12V
Tiempo aproximado de carga	Pared, 6 horas	Pared, 6 horas
	Cigarrera, 8 horas	
	Panel solar, 13 a 26 horas	Lámina solar, 12 a 18 horas
Peso	5,4Kg	9Kg
Dimensiones	19.7 x 14.6 x 17.2 cm	28 x 26 x 21 cm

La comparación permite afirmar que el sistema implementado, tiene una mayor capacidad de almacenamiento respecto al Yeti 150, lo que le permite mantener una mayor potencia de salida, pero con peso y dimensiones mayores. La Fig. 42 muestra una panorámica del sistema implementado totalmente desplegado.



Fig.42. Panorámica del sistema implementado en condiciones de total despliegue. Fotografía de los autores.

IX. PRUEBAS PARA ANALIZAR EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

A. Carga del sistema desde el cargador de pared

Esta prueba se propuso para establecer el tiempo requerido para la carga total de la batería a partir del

cargador de pared, y, para determinar la operatividad del controlador de carga.

En esta prueba se registró del nivel de voltaje en la batería. Se prestableció que la batería se cargaría en aproximadamente 6 horas; en las primeras 5 horas, se registró el nivel de voltaje en la batería en intervalos de 30 min; mientras que, en la última hora, la adquisición fue cada 2 min (ver Tabla 13)

Tabla 13
Carga del sistema desde el cargador de pared. Elaborado por los autores

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
0	11,40
0,50	12,51
1,00	12,62
1,50	12,74
2,00	12,88
2,50	12,97
3,00	13,06
3,50	13,22
4,00	13,45
4,50	13,67
5,00	14,02
5,02	14,04
5,03	12,97
5,04	14,04
5,05	12,97
5,07	13,98
5,08	12,97
5,12	13,94
5,13	12,97
5,16	13,88
5,17	12,97
5,19	13,93
5,20	12,97
5,26	13,86
5,26	12,97
5,31	13,92
5,32	12,97
5,35	13,96
5,36	12,97
5,42	13,88
5,43	12,97
5,52	13,92
5,53	12,97
5,59	13,96
5,60	12,97
5,69	13,92
5,70	12,98
5,81	13,97
5,82	12,99
5,92	13,78
5,93	12,99
6,00	13,86
6,02	12,99
6,03	13,95

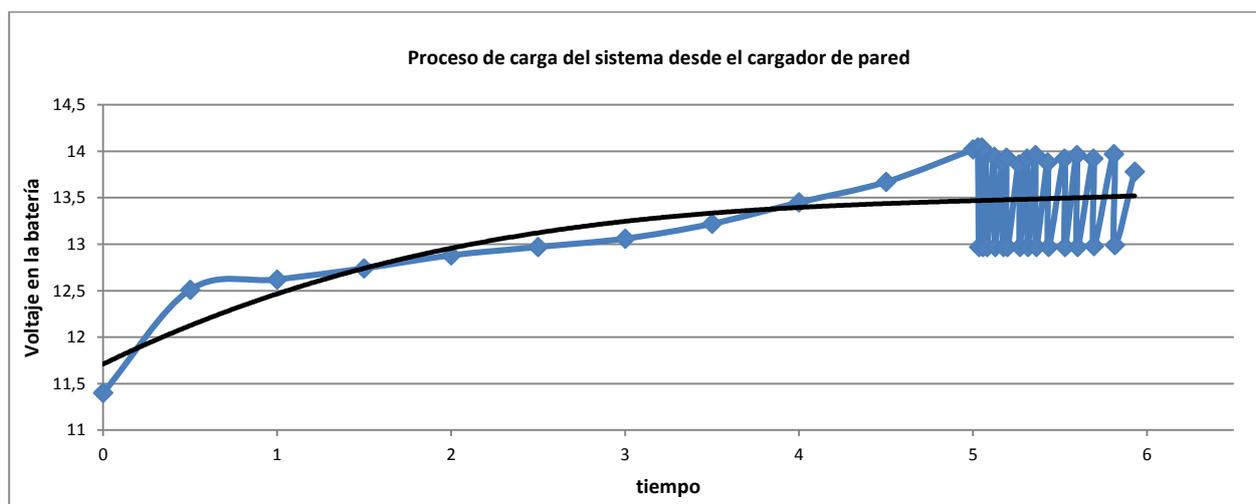


Fig. 43. Proceso de carga del sistema desde el cargador de pared. Diseño de los autores

La Fig. 43 muestra la gráfica de carga del sistema desde el cargador de pared. La carga de la batería se completa en aproximadamente 5 horas, luego de lo cual empieza a funcionar el modo PWM del cargador de batería. Los resultados muestran que esta prestación del sistema funciona correctamente.

B. Carga del sistema desde la lámina solar

Debido a las condiciones climáticas en la zona de Loja al momento de culminar este proyecto, la naturaleza de la carga del sistema desde la lámina solar, se estableció para días parcialmente nublados, adquiriendo data entre las 7:00 y 16:00 de 2 días consecutivos, a intervalos de 10 min. La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 14

Carga del sistema desde la lámina solar. Elaborado por los autores

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
0	11,40
0,16	11,41
0,33	11,42
0,50	11,47
0,66	11,51
0,83	11,73
1,00	11,96
1,16	11,98
1,33	12,00
1,50	12,14
1,66	12,30
1,83	12,40
2,00	12,48
2,16	12,51
2,33	12,54
2,50	12,60
2,66	12,37
2,83	12,42
3,00	12,65
3,16	12,50
3,33	12,65
3,50	12,80

Tabla 14

Carga del sistema desde la lámina solar. Continuación ...

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
3,66	12,82
3,83	12,80
4,00	12,67
4,16	12,76
4,33	12,90
4,50	13,00
4,66	13,10
4,83	12,98
5,00	12,90
5,16	12,87
5,33	12,92
5,50	13,05
5,66	13,07
5,83	13,12
6,00	13,35
6,16	13,10
6,33	13,21
6,50	12,90
6,66	13,20
6,83	12,97
7,00	12,91
7,16	13,10
7,33	13,30
7,50	13,21
7,66	12,96
7,83	12,91
8,00	13,20
8,16	13,10
8,33	12,47
8,50	12,86
8,66	12,70
8,83	12,60
9,00	12,30
Voltaje de estabilización	12,62
9,16	12,62
9,33	12,63
9,50	12,65
9,66	12,65
9,83	12,66
10,00	12,66
10,16	12,67

Tabla 14
Carga del sistema desde la lámina solar. Continuación

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
10,33	12,95
10,50	12,97
10,66	13,01
10,83	13,30
11,00	13,10
11,16	13,00
11,33	13,40
11,50	13,32
11,66	13,30
11,83	13,00
12,00	13,47
12,16	13,50
12,33	13,56
12,50	13,40
12,66	13,40
12,83	13,41
13,00	13,70
13,16	13,46
13,33	14,10
13,50	13,50
13,66	13,60
13,83	14,01
14,00	13,70
14,16	13,50

Tabla 14
Carga del sistema desde la lámina solar. Continuación

Tiempo de carga, h	Voltaje en la batería, V
14,33	14,14
14,50	13,52
14,66	14,00
14,83	14,20
15,00	13,63
15,16	13,60
15,33	14,21
15,50	13,62
15,66	14,10
15,83	13,66
16,00	14,21
16,16	13,70
16,33	14,34
16,50	13,73
16,66	14,36
16,83	13,80
17,00	14,20
17,16	13,85
17,33	14,10
17,50	13,90
17,66	13,92
17,83	14,40
18,00	13,89
18,16	13,95
Voltaje de estabilización	12,80

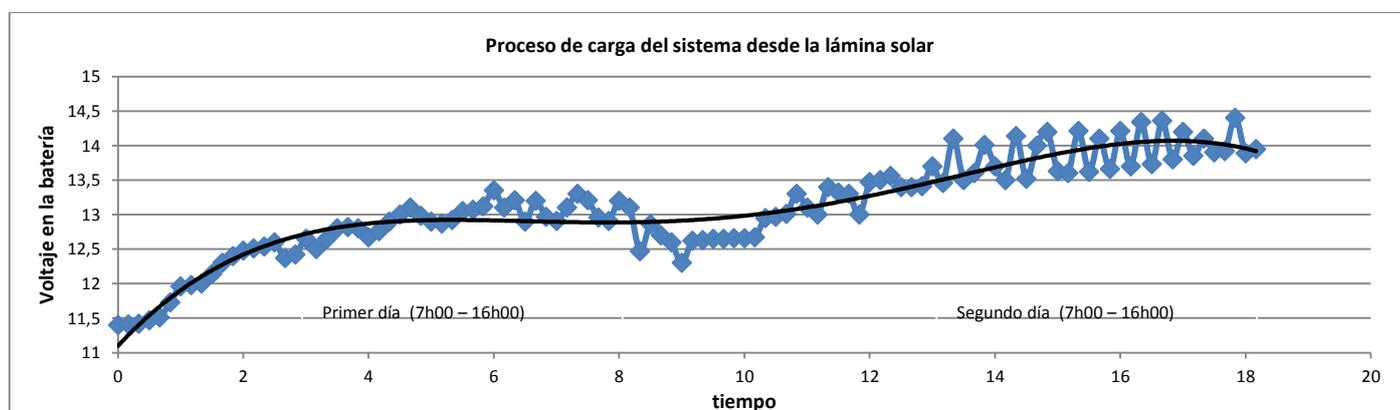


Fig. 44. Proceso de carga del sistema desde la lámina solar. Diseño de los autores

La Fig. 44 muestra la gráfica de carga del sistema desde la lámina solar. La carga de la batería se completó en aproximadamente 18 horas. Los resultados muestran que esta prestación del sistema funciona correctamente.

C. Consideraciones para el análisis de la naturaleza de la descarga del sistema al proveer de energía

Para medir el desempeño del sistema en esta prestación, se consideró 2 regímenes de trabajo: provisión de energía a un almacén de dispositivos de camping, y, provisión de energía a un único computador.

En el primer régimen de provisión, para el almacén se seleccionó dispositivos de uso común en camping (u

otras actividades), y, de consumo de energía moderado: un celular, una lámpara LED, un GPS, y, una radio. La Tabla 15 resume el requerimiento diario de energía de todo el almacén seleccionado.

Tabla 15
Requerimiento diario de energía del almacén de dispositivos a alimentar. Elaborado por los autores.

Dispositivo	Unidades	Consumo, W	Uso diario estimado, h	Total energía requerida, Wh/día
Celular	1	3,50	1	3,50
Radio	1	3,15	10	31,50
Lámpara LED	2	10,08	8	80,64
GPS	1	1,75	1	1,75
TOTAL				117,39

La Tabla 16 resume la proyección de demanda diaria de energía para el segundo régimen de provisión.

Tabla 16

Requerimiento diario de energía de un computador. Elaborado por los autores

Dispositivo	Unidades	Consumo, W	Uso diario estimado, h	Total energía requerida, Wh/día
Computador	1	65	1	65
TOTAL				65

D. Descarga del sistema en la provisión de energía al almacén de dispositivos

En este apartado, se realizaron algunas pruebas, que en el marco de este proyecto, se denominaron escenarios.

Escenario 1

Desde el sistema, previamente cargado, se alimentó 2 lámparas de 20W cada una, y, 1 radio de 75W. Cada uno de los dispositivos se alimentó por separado, hasta que el sistema se descargó totalmente. Las Tablas 17 y 18 muestran los resultados obtenidos. La Fig. 45 muestra la gráfica de descarga del sistema al alimentar, por separado, las lámparas y la radio. Tal como se esperaba, los resultados muestran que el tiempo de provisión de energía desde el sistema es inversamente proporcional a la demanda de energía desde la carga.

Tabla 17

Proceso de descarga del sistema alimentando lámparas. Elaborado por los autores

	Tiempo de descarga, h	Nivel de voltaje en la batería, V
Carga: 2 lámparas de 20W	0	12,81
	0,25	12,30
	0,50	12,20
	0,75	12,11
	1,00	12,02
	1,25	11,93
	1,50	11,83
	1,75	11,72
	2,00	11,60
	2,25	11,46
	2,50	11,29
	2,75	11,03
	3,00	10,53
3,25	9,30	
Voltaje de estabilización del equipo sin carga		11,53

Tabla 18

Proceso de descarga del sistema alimentando una radio. Elaborado por los autores

	Tiempo de descarga, h	Nivel de voltaje en la batería, V
Carga: 1 radio de 75W	0,00	12,81
	0,25	12,20
	0,50	11,94
	0,75	11,80
	1,00	11,62
	1,25	11,43
	1,50	11,23
	1,75	10,70
	2,00	9,30
	Voltaje de estabilización del equipo sin carga	

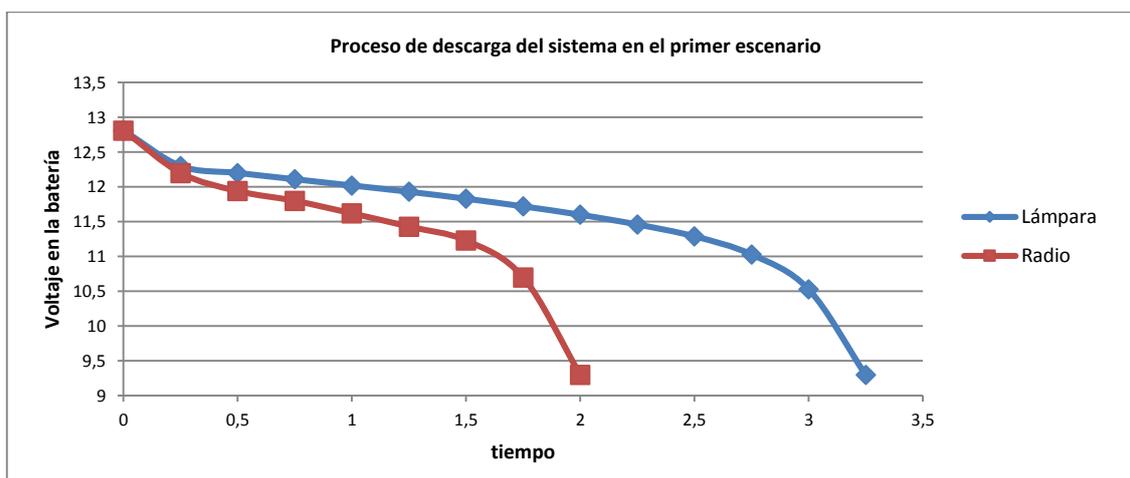


Fig. 45. Proceso de descarga del sistema alimentando lámparas o radio. Diseño de los autores

La Fig. 45 muestra la gráfica de descarga del sistema. La descarga de la batería se completó en aproximadamente 3 horas y 20 minutos para las lámparas y 2 horas para la radio. Los resultados muestran que la descarga es proporcional con respecto a la potencia que consumen los equipos. Este escenario del sistema funciona correctamente.

Escenario 2

En este escenario se probó el desempeño del sistema en las condiciones de trabajo proyectadas en el diseño (ver Tabla 19): varias cargas conectadas al equipo en forma simultánea y/o alternada. Desde el sistema, previamente cargado, se alimentó 1 celular de 3,2W (durante 1 hora), un GPS de 3,2W (durante 1 hora), una radio de 20W (durante 1 hora y 33 minutos), y, 1 lámpara de 20W (durante 4 horas). Los resultados

obtenidos se muestran en la Tabla 19. La Fig. 46 muestra la gráfica de descarga del sistema al alimentar las diferentes cargas.

Tabla 19

Descarga sistema implementado en el escenario 2. Elaborado por los autores

Carga	Consumo, W	Tiempo de carga, h	Porcentaje de carga, %	Voltaje en la batería, V
Celular y GPS	6,4	0	0	12,81
		0,25	27	12,24
		0,50	53	12,18
		0,75	82	12,13
		1,00	100	12,07

Tabla 19

Descarga sistema implementado en el escenario 2. Continuación ...

Carga	Consumo, W	Tiempo de carga, h	Porcentaje de carga, %	Voltaje en la batería, V
Radio	31,5	0		12,81
		2	-	12,23
		4	-	12,16
		6	-	12,10
		8	-	12,04
Lámpara LED	10,08	0		12,81
		2	-	12,07
		4	-	11,87
		6	-	11,62
		8	-	11,45
Voltaje de estabilización del equipo sin carga				11,84

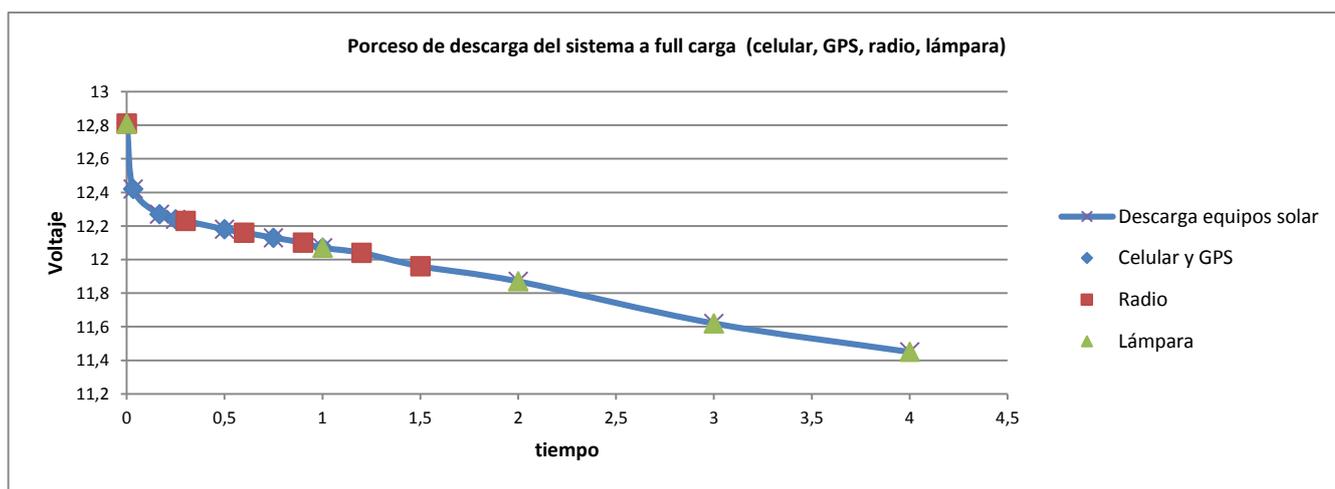


Fig. 46. Proceso de descarga del sistema alimentando full carga. Diseño de los autores

La Fig. 46 muestra la gráfica de descarga del sistema. Los resultados muestran que el sistema puede alimentar a todo el almacén de dispositivos, durante el tiempo estimado en el diseño.

E. Descarga del sistema en la provisión de energía a un computador

Escenario 1

Desde el sistema previamente cargado, se alimentó un computador portátil completamente descargado, y, no operativo (ver Fig.47). Los resultados del proceso de descarga del sistema solar se muestran en la Tabla 20. La Fig. 48 muestra la gráfica de descarga del sistema al alimentar el computador. Ante la imposibilidad de censar el porcentaje de carga del computador se realizó una línea de tendencia de su proceso de carga.

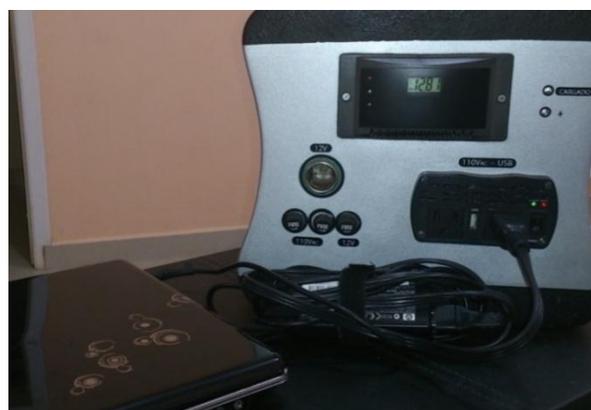


Fig. 47. Carga de un computador descargado, desde el sistema implementado. Fotografía de los autores.

Tabla 20

Descarga del sistema al alimentar la carga de un computador portátil inactivo. Elaborado por los autores.

Carga: Portátil HP Pavilion (descargada y apagada)				
Dispositivo	Consumo, W	Tiempo de carga, h	Porcentaje de carga, %	Voltaje en la batería, V
Portátil	65	0	0	12,81
		0,25	34	12,05
		0,50	57	11,92

Tabla 20

Descarga del sistema al alimentar la carga de un computador portátil inactivo. Continuación ...

Carga: Portátil HP Pavilion (descargada y apagada)				
Dispositivo	Consumo, W	Tiempo de carga, h	Porcentaje de carga, %	Voltaje en la batería, V
	65	0,75	100	11,86
		1,00	100	11,86
		1,25	100	11,86
Voltaje de estabilización del equipo sin carga				12,20

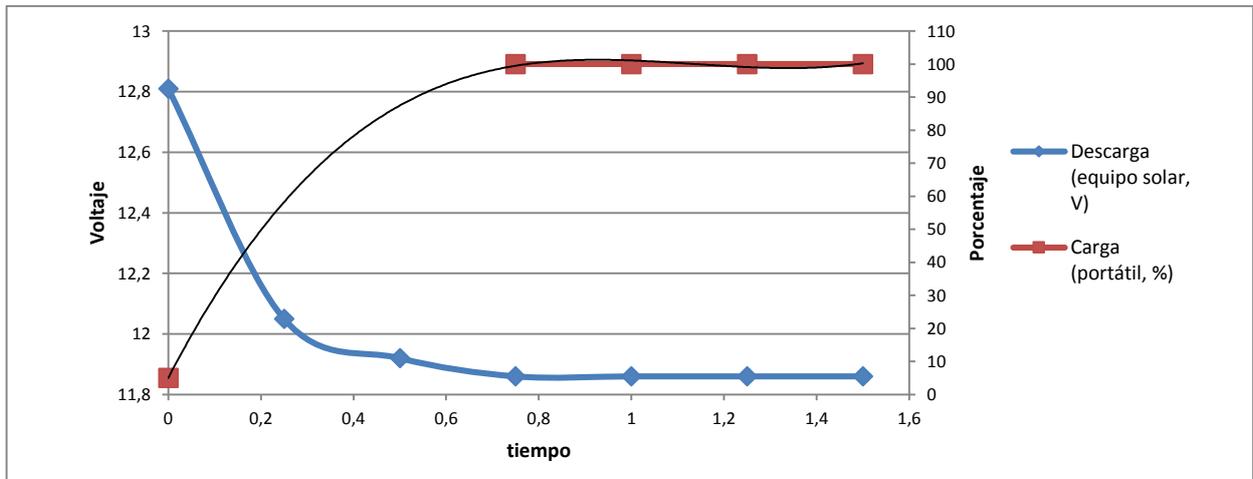


Fig. 48. Proceso de descarga del sistema y carga de un computador portátil inactiva. Diseño de los autores

Escenario 2

Desde el sistema previamente cargado, se alimentó un computador portátil completamente descargado, y, (Autocad 2011, Reproductor Windows media, Avast antivirus, Skype, Mozilla Firefox, Word y Excel). El rendimiento del CPU estuvo entre 65% y 95% (ver Fig. 49). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 21. La Fig. 50 muestra la gráfica de descarga del sistema al alimentar el computador encendido.

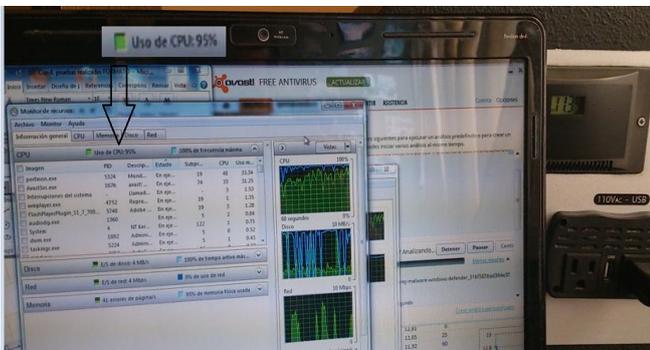


Fig. 49. Rendimiento del computador durante la prueba. Fotografía de los autores.

Tabla 21

Descarga del sistema al alimentar la carga de un computador portátil activo. Elaborado por los autores.

Carga: Portátil HP Pavilion (descargada y en uso)				
Dispositivo	Consumo, W	Tiempo de carga, h	Porcentaje de carga, %	Nivel de la batería V
Portátil	65	0	8	12,81
		0,25	28	11,96
		0,50	44	11,75
		0,75	59	11,55
		1,00	71	11,29
		1,25	82	10,66
		1,33	85	9,74
Voltaje de estabilización del equipo sin carga				11,50

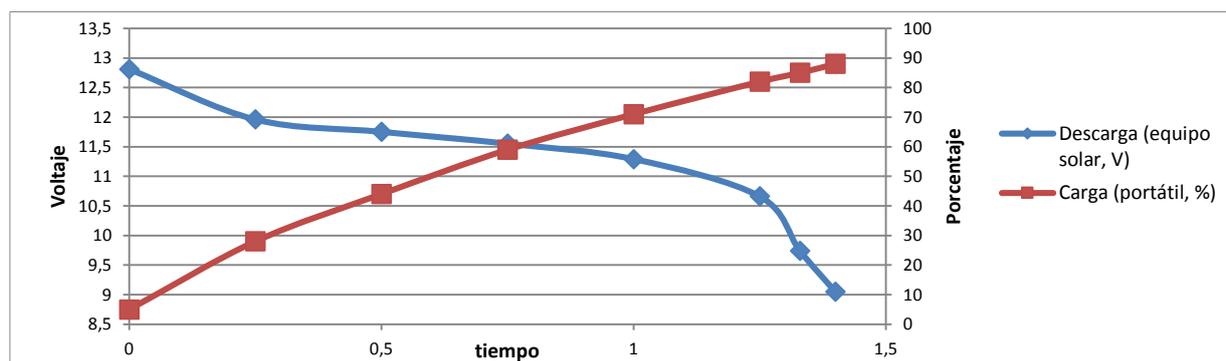


Fig. 50. Procesos de descarga del sistema y carga de un computador portátil activa. Diseño de los autores

X. CÁLCULO DE LA INVERSIÓN REALIZADA

La Tabla 10 resume la inversión realizada en la fabricación del módulo principal del equipo diseñado, y, en la adquisición de los componentes.

Tabla 10

Inversión en la fabricación e implementación del equipo solar.
Elaborado por los autores

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
4	Brochas soyoda 2"	0,625	2,5
2	Fibra de vidrio MT 300GR X 1.2mts.	3,57	7,14
4	Lija 80 fandeli	0,45	1,78
2	Lija 240 fandeli	0,36	0,71
2	Lija 360 fandeli	0,36	0,71
1	Laca GLN	5,8	5,8
1	Galón envase vacío	0,9	0,89
2	Galones de resina	23,21	46,42
1	Sikaflex negro	10	10
1	Fondo 0022	23,88	23,88
8	T progresiva plástica 1"	1,12	8,928
1	Escuadra plástica 1"	1,79	1,7857
2	Tubo de 1x1 04 640	12,19	24,375
1	Sunforce 60031 10 Amp Charge Controller	33,98	33,98
1	Sunforce 7 Amp Charge Controller	15,14	15,14
1	Cobra CPI 480 400W Power Inverter	26,8	26,8
1	Envío Estados Unidos-Ecuador	30	30
1	Batería 12V 18Ah	68	68
1	Cargador de pared 19,5V 2A	15	15
1	Conectores	35,45	35,45
1	Mano de obra de fabricación, conexiones y funcionamiento	200	200
	Subtotal		559,31
	IVA 12%		67,12
	TOTAL		626,43

XI. CONCLUSIONES

- El avance y miniaturización constante de la tecnología, ha convertido a la energía en una posesión personal. Ahora, es común portar algún tipo de dispositivo electrónico diseñado para ofrecer diversas prestaciones o servicios.
- En las aplicaciones solares portables para camping, presentes en el mercado, existe una relación directa entre la capacidad de la batería (la potencia del equipo), y, el peso y tamaño de la aplicación. En este contexto, el desafío más importante al diseñar una aplicación propia será encontrar un equilibrio adecuado entre las tres variables, apuntando a la reducción del peso sin afectar la capacidad de almacenamiento.
- En el marco de este proyecto, se decidió adoptar como modelo referencial para el diseño de un equipo portable para provisión de energía eléctrica basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping, al equipo comercial Yeti150, fabricado por GoalZero.
- La selección de este equipo como modelo referencial, se basó en que el peso y volumen facilitan la portabilidad mientras que, la potencia de salida es suficiente para conectar dispositivos de consumo moderado (iluminación, radio, GPS, entre otros), con una aceptable autonomía de provisión.
- Se propuso que el equipo a diseñar conste de 4 bloques: bloque de carga del sistema ya sea por la captura de energía solar a través de láminas solares o utilizando la red eléctrica pública mediante el cargador de pared, 2 reguladores de carga de la batería, storage, e, interface de usuario.
- La energía solar se capturará a través de láminas solares flexibles (livianas), con lo que se conseguirá mejorar la portabilidad

- de toda la aplicación. Un controlador gestionará la carga de la batería, ya sea desde las láminas solares o desde el cargador de pared. La energía capturada o provista por la red, se almacenará en una batería.
- La interface de usuario, presentará dos módulos: entrega de energía y conectividad. En el módulo de entrega de energía, la interface de usuario proporcionará 2 salidas de AC a 110V, un conector USB, y, 1 salida AD a 12V. La conversión AD en AC se logrará en un inversor. El módulo de conectividad contendrá dos puertos para conexión de las láminas solares, un puerto de entrada para conexión a la red convencional, y, un puerto para ampliar la capacidad de la aplicación a través de la conexión de un segundo equipo.
 - Considerando que las baterías comerciales operan comúnmente a 12V y 24V, se decidió montar el esquema eléctrico en 12V y conectar las láminas en paralelo, con lo que aumenta la corriente eléctrica disponible para la carga, y, se reduce el tiempo de carga.
 - Para dimensionar la carga a alimentar, se consideró 2 regímenes de trabajo del equipo: provisión a un almacén mínimo de dispositivos (grupo de dispositivos de uso común en camping), y, provisión a un computador portátil u otras cargas AC.
 - Con la intención de verificar el desempeño de las láminas solares en la zona de Loja, se decidió medir el voltaje y la corriente de las láminas, para diferentes condiciones de trabajo: ubicación (interior, exterior), y, clima (despejado, nublado). Los resultados obtenidos mostraron que el mejor desempeño de las láminas solares se registra en los 15° de inclinación. En base a esto, se decidió que la lámina solar debería ser desplegada sobre un soporte metálico desmontable y portable, que garantice la inclinación requerida.
 - El soporte metálico para la lámina solar, será fabricado en tubo de aluminio. Se sugirió una estructura conformada por quince partes acoplables entre sí. El ángulo de inclinación del soporte puede variar entre 0 a 16°, con un ángulo recomendable de 10°.
 - Por cuanto el equipo será utilizado para camping, este deberá ser capaz de soportar altos niveles de humedad, y, polvo. De acuerdo al estándar internacional IEC 60529, se decidió recomendar un índice de protección IP63.
 - El equipo deberá tener un montaje compacto, sólido, y, liviano. En este contexto, se decidió instalar los elementos del equipo en una estructura tipo caja, fabricada de fibra de vidrio, y, revestida en su interior con pintura batida de piedra para mayor resistencia mecánica. La caja se cerrará con una tapa, ajustada adecuadamente. Y para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía del equipo, se decidió prever la conexión de diferentes módulos a través de los conectores desplegados en la parte posterior de la estructura.
 - La ingeniería de detalle y la fabricación del módulo principal del sistema, se ha fundamentado en tres premisas: optimizar el rendimiento del sistema, mejorar los indicadores ergonómicos del equipo, y, afianzar la portabilidad.
 - Como resultado de la selección final de componentes del sistema, en la arquitectura originalmente propuesta se incluyó un controlador de carga para abastecer al sistema desde la red eléctrica pública, a fin de aislar los 2 subsistemas de carga, y, evitar que las corrientes de retorno provenientes del cargador de pared afecten a las láminas solares.
 - El módulo central del equipo se fabricó con fibra de vidrio, en un proceso de 5 etapas, enfocado en proporcionar la resistencia mecánica requerida para albergar a los componentes del sistema, y, garantizar el cumplimiento del IP63 planteado en los requerimientos.
 - El sistema implementado cumple con un índice de protección equivalente a IP63; es decir, que posee protección total contra la penetración de cualquier cuerpo sólido (polvo) y la caída de gotas de agua con un ángulo de hasta 60° con respecto de la vertical, desde cualquier dirección.
 - El peso total del sistema es de 11Kg, por lo que se puede afirmar que cumple con la recomendación a las normas para manipulación de cargas del Ministerio de Trabajo e Inmigración y del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo, de España.
 - El sistema implementado, tiene una mayor capacidad de almacenamiento respecto al modelo referencial Yeti 150, lo que le permite mantener una mayor potencia de salida, pero con peso y dimensiones mayores.
 - La carga de la batería se completa en aproximadamente 5 horas, luego de lo cual empieza a funcionar el modo PWM del cargador de batería. Los resultados

muestran que esta prestación del sistema funciona correctamente.

- La carga de la batería desde la lámina solar se completó en aproximadamente 18 horas. Los resultados muestran que esta prestación del sistema funciona correctamente.

XII. REFERENCIAS

- [1]. Energía Solar. La Eléctrica. [Online]. Disponible en: <http://laelectricidad.wordpress.com/tag/placas-solares/>
- [2]. Ahorro de energía. Ventajas de la energía solar portable en la vida cotidiana. [Online]. Disponible en: <http://www.ahorroenergia.com/ventajas-de-la-energia-solar-portable-en-la-vida-cotidiana/>
- [3]. Kit Yeti 150. [Online]. Disponible en: <http://www.goalzero.com/yeti150>
- [4]. Solar e Power Cube, WAGAN. [Online]. Disponible en: <http://www.smarthome.com/manuals/92800-man.pdf>
- [5]. ECO1800S Solar Power Generator, ECOTRICITY. [Online]. Disponible en: <http://www.smarthome.com/manuals/44396.pdf>
- [6]. GoalZero, Medium devices. Escape Adventure kit 150. [Online]. Disponible en: <http://www.goalzero.com/shop/p/60/Escape-150-Adventure-Kit/1:2>
- [7]. Kit Extreme 350. [Online]. Disponible en: <http://www.goalzero.com/extreme350>
- [8]. PowerFilm Solar. [Online]. Disponible en: <http://www.powerfilmsolar.com/>
- [9]. Sánchez Maza Miguel Ángel, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, pág. 151-155.
- [10]. Harper Enríquez, Primera edición 2010 México DF, “INSTALACIONES ELÉCTRICAS DOMÉSTICAS CONVENCIONALES Y SOLARES FOTOVOLTAICOS”, pág. 363-365.
- [11]. Chuquín Vasco Nelson Santiago, Márquez Saña y Fernando Ricardo, “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA PUBLICITARIO ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR, Y CONTROLADO CON UN RELÉ INTELIGENTE”, [Online]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/888?mode=full>
- [12]. Baterías para sistemas solares y eólicos. [Online]. Disponible en: <http://deltavolt.pe/baterias>
- [13]. Batería LFX21L6- BS12. [Online]. Disponible en: <http://www.powerplace.com.ec>
- [14]. Batería SLA T3. [Online]. Disponible en: <http://www.chromebattery.com/12v-20ah-sealed-lead-acid-sla-nut-and-bolt-connector.html>
- [15]. Batería 6FM18. [Online]. Disponible en: <http://shoraipower.com.au/store/products/lfx2116-bs12/>
- [16]. Inversor PV 375. [Online]. Disponible en: <http://www.tripplite.com/en/products/model.cfm?txtSeriesID=815&txtModelID=2552>
- [17]. Wagan invertir. [Online]. Disponible en: <http://www.wagan.com/media/pdf/smart-ac/2003-5.pdf>
- [18]. Inversor Cobra CPI 480. [Online]. Disponible en: https://cobra.com/Manuals/CPI480_MANL.pdf
- [19]. Carga de baterías [Online]. Disponible en : http://www.electroimpulso.com.ar/ENERGIAS_OLAR/BAT.pdf
- [20]. Tejidos metálicos de uso industrial [Online]. Disponible en : <http://www.ingefilter.com/pdf/Mallas.pdf>
- [21]. Castro, Andrea. Jaramillo, Jorge Luis. CARACTERIZACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LÁMINAS SOLARES. [Online]. Disponible en: <http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/6991/1/Castro%20Andrea.pdf>
- [22]. NORMAS GLOBALES PARA GABINETES EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA. [Online]. Disponible en: http://www.hoffmanonline.com/stream_documento.aspx?rRID=245286&pRID=245285
- [23]. Manipulación manual de cargas. Ministerio de Trabajo e Inmigración. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo. España [Online]. Disponible en: <http://www.insht.es/MusculoEsqueleticos/Contenidos/Formacion%20divulgacion/material%20didactico/GuiatecnicaMMC.pdf>