

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**Universidad
Carlos III de Madrid**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

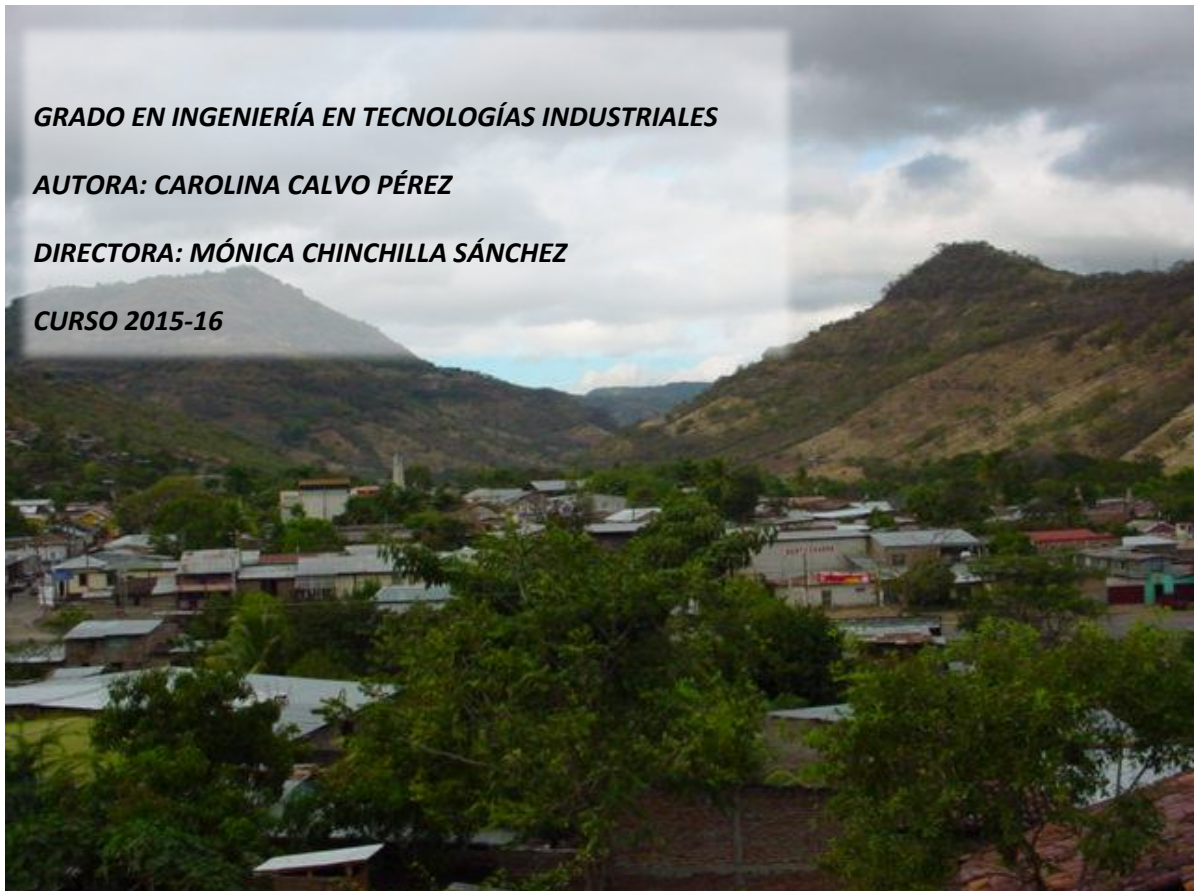
**CARGADOR SOLAR PARA DISPOSITIVOS
ELECTRÓNICOS DE BAJO VOLTAJE EN
COMUNIDADES RURALES AISLADAS DE RED**

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

AUTORA: CAROLINA CALVO PÉREZ

DIRECTORA: MÓNICA CHINCHILLA SÁNCHEZ

CURSO 2015-16



Resumen

En el presente documento se exponen las etapas por las que ha pasado este proyecto, cuyo último fin es conseguir un producto que cubra la creciente necesidad de carga de dispositivos electrónicos de bajo voltaje, como son los teléfonos móviles o *smartphones*, para mantener comunicados a los habitantes de comunidades aisladas de red eléctrica. El prototipo deberá cumplir los requisitos de las Tecnologías Apropriadadas y debe poder ser llevado a cabo en lugares con recursos básicos sin depender de esta universidad.

Este proyecto parte de la iniciativa planteada por una estudiante de FAREM (Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí), ganadora del Primer Premio Internacional de Tecnologías Apropriadadas, concedido por la UC3M (Universidad Carlos III de Madrid), que propone el diseño de un multicargador con posibilidad de cargar 10 dispositivos conectándolo a una batería de un panel solar fotovoltaico.

Para llegar a la solución final, a lo largo del proyecto se ha contado con el apoyo de la estudiante impulsora del proyecto y parte del profesorado de FAREM, profesorado y técnicos de laboratorio de la UC3M y se ha tenido acceso a las instalaciones de los laboratorios del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UC3M.

Para el análisis de las instalaciones eléctricas se ha utilizado el software PVSyst y para el diseño de las placas electrónicas (PCB) se ha utilizado el software OrCad.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Condiciones energéticas en las comunidades rurales de Nicaragua.....	3
1.3. Objetivo general.....	4
2. Tecnologías apropiadas.....	5
2.1. ¿Qué son las TAs?	5
2.2. Requerimientos y características locales.....	6
3. Estado del arte	8
3.1. Cargador común (AC-DC).....	8
3.2. Cargador común de automóvil (DC-DC)	10
3.3. Cargador solar.....	11
3.4. Convertidores reductores (Buck Converter).....	13
4. Soluciones propuestas	18
4.1. Primera propuesta	19
4.2. Segunda propuesta	22
4.3. Tercera propuesta.....	24
5. Desarrollo de la solución.....	26
5.1. Objetivos específicos	26
5.2. Organización del proyecto	27
5.3. Propuesta llevada a Nicaragua	29
5.4. Prueba de funcionamiento antes del traslado a Nicaragua	31
5.5. Puesta en marcha del primer prototipo en Nicaragua.....	35
5.5.1. Cronograma seguido en Estelí.....	35
5.5.2. Lugar escogido para la puesta en marcha.....	36
5.5.3. Instalaciones eléctricas de la EcoPosada Las Palmeras.....	36
5.5.4. Balance de energía en el sistema fotovoltaico antes y después de la instalación del cargador. Simulación.	39
5.5.5. Puesta en marcha en las comunidades	41

5.5.6.	Análisis del funcionamiento el prototipo	44
5.6.	Desarrollo del prototipo mejorado en Leganés.....	47
5.6.1.	Propuesta mejorada	47
5.6.2.	Elaboración del prototipo final mejorado	50
5.6.3.	Instalaciones eléctricas y equipos en el laboratorio	52
5.6.4.	Análisis del funcionamiento del prototipo	54
6.	Costes de desarrollo.....	55
7.	Otras aplicaciones del prototipo	58
8.	Propuestas adicionales.....	58
9.	Conclusiones.....	60
9.1.	Resultados obtenidos	60
9.2.	Pasos a seguir en el futuro.....	61
9.3.	Opinión personal.....	61
10.	Bibliografía.....	62

Índice de figuras

<i>Figura 1: Ubicación de Mirafior en Estelí, Nicaragua</i>	1
<i>Figura 2: Plantación de café (Mirafior, Estelí)</i>	1
<i>Figura 3: Distribución de paneles fotovoltaicos aislados en la relación con la población de la comunidad [3]</i>	3
<i>Figura 4: Vivienda rural con panel solar fotovoltaico (Mirafior, Estelí)</i>	4
<i>Figura 5: Características de las Tecnologías Apropriadas</i>	6
<i>Figura 6: Cargadores comunes AC-DC (Apple vs. Marca blanca) [9]</i>	9
<i>Figura 7: Circuito cargador AC-DC [10]</i>	9
<i>Figura 8: Cargador para automóvil</i>	10
<i>Figura 9: Circuito interior de un cargador de automóvil</i>	10
<i>Figura 10: Ejemplo 1: Cargador Solar básico con Panel FV [12]</i>	11
<i>Figura 11: Ejemplo 2: Cargador Solar con Panel FV de alta eficiencia [12]</i>	12
<i>Figura 12: Ejemplo 3: ReadySet Solar [13]</i>	12
<i>Figura 13: Ejemplo 4: Xtorm Lava Charger [12]</i>	13
<i>Figura 14: Convertidor Reductor DC/DC sin aislamiento [15]</i>	14
<i>Figura 15: Circuito obtenido al variar la posición del conmutador [15]</i>	14
<i>Figura 16: Tensión y corriente en el conmutador y en la bobina [15]</i>	14
<i>Figura 17: Corriente y tensión en el diodo [15]</i>	15
<i>Figura 18: Tensión v_L con T_{on} y T_{off} en función de D [15]</i>	16
<i>Figura 19: Comparación entre la corriente en la bobina y en el condensador [15]</i>	16
<i>Figura 20: v_L e i_L en Modo de Conducción Discontinuo [15]</i>	17
<i>Figura 21: Producto que se propone obtener [3]</i>	18
<i>Figura 22: Situación de las conexiones del cargador [3]</i>	18
<i>Figura 23: Etapa individual del circuito de la Propuesta 1. Simulación en Multisim</i>	19
<i>Figura 24: Señal V_{OUT} (DC) obtenida en la simulación</i>	19
<i>Figura 25: Prototipo inicial, parte inferior</i>	20
<i>Figura 26: Prototipo inicial, parte superior</i>	20
<i>Figura 27: Esquema virtual de las conexiones del sistema</i>	20
<i>Figura 28: Diseño del circuito de la propuesta 2</i>	23

<i>Figura 29: LM2596 DC to DC Voltage Reducing Converter. Price: 3,22 US [20].....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 30: . LM2596 DC-DC Adjustable Step-Down Module. Price: 3,16 US\$ [20]</i>	<i>25</i>
<i>Figura 31: Diagrama de Gantt, primera parte del proyecto</i>	<i>27</i>
<i>Figura 32: Diagrama de Gantt, segunda parte del proyecto</i>	<i>28</i>
<i>Figura 33: Visión global de la distribución del tiempo para el proyecto completo</i>	<i>28</i>
<i>Figura 34: Esquema de la conexión de las 10 etapas</i>	<i>29</i>
<i>Figura 35: Proceso de fabricación del cargador: Soldaduras</i>	<i>29</i>
<i>Figura 36: Proceso de fabricación del cargador: Conexiones de cada una de las 10 etapas</i>	<i>30</i>
<i>Figura 37: Proceso de fabricación del cargador: Disposición de los componentes en la placa</i>	<i>30</i>
<i>Figura 38: Proceso de fabricación del cargador: Sellado de las salidas USB y conexión de las 10 etapas a +12VDC y GND.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 39: Prueba de carga de 4 móviles simultáneamente</i>	<i>32</i>
<i>Figura 40: Tiempo transcurrido frente al porcentaje de carga: móvil Samsung.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 41: Situación del panel solar de 250Wp</i>	<i>36</i>
<i>Figura 42: Paneles de 75p y 175 Wp</i>	<i>37</i>
<i>Figura 43: Sistema de acumulación del panel de 175Wp (izq.) y del panel de 75Wp (dcha.).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 44: Resultados de consumo sin el multicargador.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 45: Resultados de consumo con el multicargador conectado.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 46: Utilización de energía con sólo la carga de las bombillas.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 47: Utilización de energía con bombillas y multicargador.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 48: Reunión informativa con habitantes y turistas de la comunidad</i>	<i>42</i>
<i>Figura 49: Propuesta de diseño de estantería.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 50: Disposición del sistema tras la colocación de estantes y mesa.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 51: Multicargador conectado a la batería directamente.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 52: Conexión correcta del multicargador al regulador</i>	<i>46</i>
<i>Figura 53: Circuito de 10 etapas (Figura 34) con el diodo que se sustituye señalado ...</i>	<i>47</i>
<i>Figura 54: Esquemático de una etapa del multicargador</i>	<i>48</i>
<i>Figura 55: Entorno de diseño OrCad Layout.....</i>	<i>48</i>

<i>Figura 56: Huella de los componentes y distribución de conexiones en la placa PCB....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 57: PCB por encargo a través de pcbway.com [24].....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 58: Prototipo mejorado, vista superior</i>	<i>50</i>
<i>Figura 59: Prototipo mejorado, vista inferior del circuito</i>	<i>51</i>
<i>Figura 60: Vista individual ampliada del circuito de una de las 10 etapas</i>	<i>51</i>
<i>Figura 61: Generador FV de 450Wp situado en la azotea del edificio 1, sobre el laboratorio[imagen tomada desde la UC3M]</i>	<i>52</i>
<i>Figura 62: Características de los módulos FV del laboratorio [Atersa]</i>	<i>52</i>
<i>Figura 63: Regulador VMS 40ª [25].....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 64: Características del regulador del laboratorio [25].....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 65: Tiempo transcurrido frente al porcentaje de carga: iPhone 4</i>	<i>54</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Costes estimados de los componentes de la propuesta 1</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 2: Costes estimados de los componentes de la propuesta 2</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3: Costes estimados de los componentes de la propuesta 3</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 4: Medidas tomadas en vacío con el multicargador sin dispositivos conectados</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 5: Cronograma seguido en Mirafior (Parte 1)</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 6: Cronograma seguido en Mirafior (Parte 2)</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7: Medidas de carga tomadas en la comunidad rural el 9/abril/ 2016.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8: Medidas de carga tomadas en la comunidad rural el 15/abril/ 2016.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 9: Costes estimados de la propuesta mejorada.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 10: Coste de personal durante el desarrollo.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 11: Costes de informática y de software durante el desarrollo.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 12: Coste de instalaciones y equipos durante el desarrollo.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 13: Coste de materiales</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 14: Coste Total.....</i>	<i>57</i>

1. Introducción

1.1. Planteamiento del problema

En este proyecto, se tratará de ayudar a resolver el problema de la escasez energética en la Reserva de Mirafior, situada en Estelí (Nicaragua).

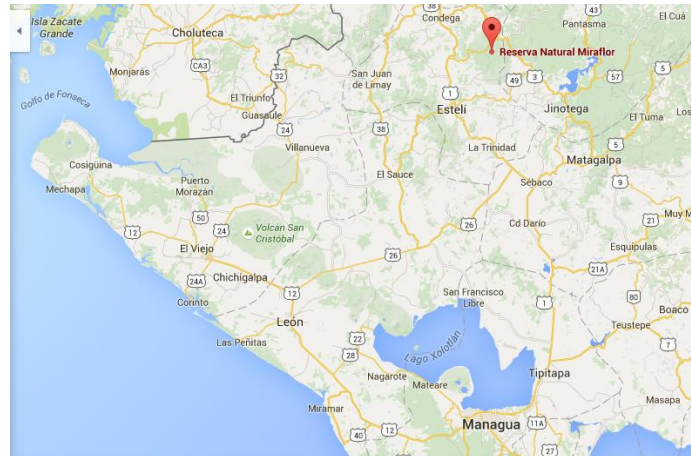


Figura 1: Ubicación de Mirafior en Estelí, Nicaragua

Mirafior está formada por 33 comunidades con una población total de aproximadamente 8000 habitantes, en su mayoría campesinos de familias que han trabajado la tierra de generación en generación. Las principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería y el ecoturismo. La producción de café desempeña un papel importante, considerado el producto ecológico de mayor importancia, su cuidado es orgánico y de excelente calidad.



Figura 2: Plantación de café (Mirafior, Estelí)

Dentro de las principales actividades económicas, el ecoturismo ha adquirido una gran importancia a lo largo de estos últimos años. Gracias a la inversión de los turistas, atraídos por los 206 km² de área natural protegida y la gran diversidad de fauna y flora que se puede disfrutar en la Reserva Natural de Miraflores Moropotente, los habitantes de las comunidades rurales están mejorando su calidad de vida poco a poco, es por este motivo por el cual es necesario potenciar esta actividad y permitir su desarrollo [1], [2].

A pesar del maravilloso paisaje y las oportunidades para realizar actividades en la naturaleza que les brinda la Reserva Natural de Miraflores, los turistas suelen encontrarse con un problema que limita la duración de su estancia en la zona. Dichos turistas, suelen poseer diversos dispositivos electrónicos de bajo voltaje (como cámaras, smartphones o tablets), los cuales, habitualmente, no pueden cargar si no se desplazan a la ciudad. Este hecho, dificulta que se hospeden en las comunidades rurales e implica una pérdida de inversión para los habitantes de Miraflores. Por otra parte, los propios habitantes tienen sus teléfonos móviles u otros dispositivos que necesitan cargar periódicamente y actualmente no les es fácil, debido a que parte de los sistemas aislados existentes en la zona suelen estar diseñados para cargas DC y en los que llevan cargas AC, el inversor es la parte más débil del sistema de abastecimiento de energía.

El método con el que contaban para cargar los dispositivos electrónicos ha sido, hasta ahora, el de transformar el voltaje de 110 VAC a 5 VDC. Para ello, se necesita que el sistema solar fotovoltaico disponga de un inversor para elevar el voltaje al valor requerido de 110 VAC y después, se conecta a esta tensión el cargador común que posee el dispositivo, el cual convierte los 110 VAC a 5 VDC [3]. Uno de los problemas de este método es que, mientras se llevan a cabo estas transformaciones de voltaje, se dan pérdidas de energía de alrededor del 10%, lo cual desemboca en la falta de aprovechamiento de la energía obtenida por el panel fotovoltaico. Además, el cargador común (AC-DC) siempre dependerá del buen funcionamiento del inversor, el cual puede necesitar reparaciones normalmente si se intenta que abarque cada vez más dispositivos, lo cual dejaría descargados e incomunicados estos dispositivos electrónicos.

Para solventar este problema, se propone la construcción de un cargador solar que funciona conectándose a 12 VDC y que regula el voltaje a 5 VDC, la tensión necesaria para cargar los dispositivos más comunes. Con esta medida, se disminuye el uso del inversor, evitando que se averíe con tanta frecuencia y aumentando su vida útil para que pueda continuar con su labor de alimentar los electrodomésticos.

Cabe destacar que el inversor es una de las partes más débiles de los sistemas de generación de energía y suele necesitar reparaciones frecuentemente. Por otra parte, se ahorran las pérdidas energéticas debidas a la transformación, lo cual contribuye a un mejor uso de la batería del panel fotovoltaico, que de esta forma sufre un menor deterioro.

1.2. Condiciones energéticas en las comunidades rurales de Nicaragua

Según investigaciones sobre clientes potenciales de la zona, se estima que se podrá beneficiar de esta medida el 80% de la población que dispone de dispositivos de bajo voltaje [3].

A pesar de que desde 2006 hasta ahora, en el departamento de Estelí, se ha pasado de un 70% a un 90% de comunidades con acceso a la Red Eléctrica Nacional, en la Reserva de Mirafior la gran mayoría de los habitantes carecen de este recurso [4].

Habitualmente las comunidades rurales de Nicaragua poseen una media de 8 habitantes por casa. Estos habitantes suelen obtener acceso a la electricidad gracias a la instalación de paneles fotovoltaicos (véase la figura 4). Sin embargo, en Mirafior, existen unos 1000 hogares de los cuales aproximadamente el 47% no contaban en 2008 con un sistema de generación de energía [5], por ello se pretende instalar el dispositivo en zonas estratégicas que posean paneles solares accesibles a toda la comunidad.

El cargador tendrá como meta inicial instalarse en más de la mitad de los 407 sistemas de paneles fotovoltaicos instalados en la zona, para lo que se contará con el apoyo del profesorado de la FAREM, centro tecnológico universitario en Estelí. Estos sistemas de generación de energía están al alcance de aproximadamente 5000 personas que, dependiendo de la situación de la comunidad, comparten cada panel con un determinado número de usuarios. En el gráfico expuesto en la figura 3, se pueden observar los porcentajes del número de personas que habitualmente deben compartir los paneles fotovoltaicos.

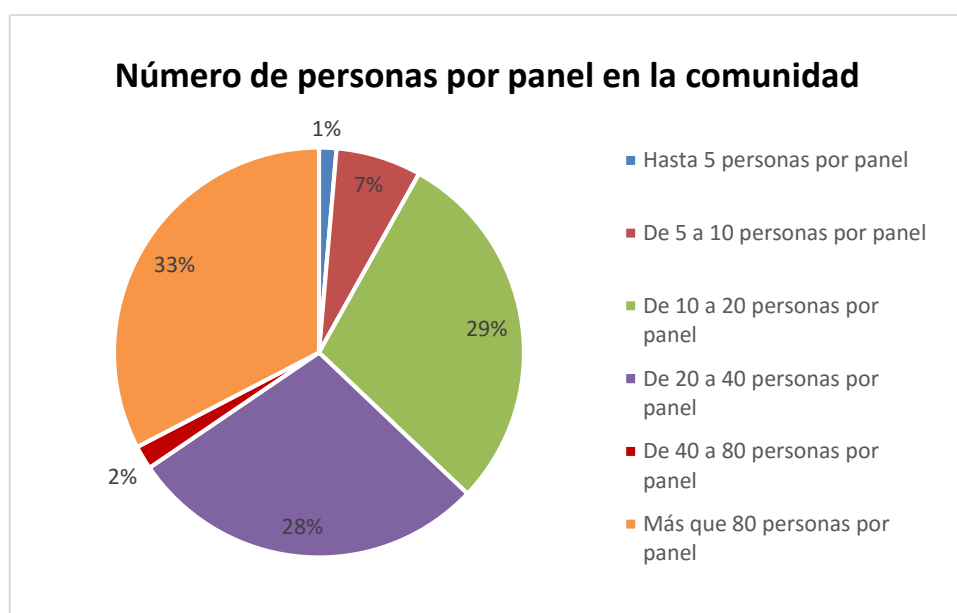


Figura 3: Distribución de paneles fotovoltaicos aislados en la relación con la población de la comunidad [3]

Analizando esta información, se hace evidente que el cargador deberá tener el mayor número de salidas posible para conectar varios dispositivos al mismo tiempo, permitiendo su uso compartido.

Para la instalación de los primeros cargadores se seleccionarán posadas con sistemas de generación de energía instalados, de forma que puedan acceder al cargador el mayor número posible de turistas y habitantes.



Figura 4: Vivienda rural con panel solar fotovoltaico (Miraflor, Estelí)

1.3. Objetivo general

El objetivo general del trabajo es el desarrollo de un cargador de dispositivos móviles, alimentado a 12 VDC, con 10 salidas USB, que pueda ser empleado en las comunidades aisladas cercanas a Estelí y que pueda ser instalado y reparado por el personal de la FAREM (Facultad Regional Multidisciplinaria, Estelí), que es el centro tecnológico más cercano a la comunidad de Miraflor.

En el apartado 5.1 se detallan los objetivos concretos del trabajo, pero antes se describen las principales características de las tecnologías apropiadas, el estado del arte y las soluciones propuestas antes del comienzo del desarrollo del multicargador final.

2. Tecnologías apropiadas

2.1. ¿Qué son las TAs?

Además de resolver el problema que se explica anteriormente, en este proyecto se presenta el reto de utilizar, para ello, las tecnologías apropiadas.

Tradicionalmente, uno de los mayores errores que se ha cometido en programas de mejora e iniciativas llevadas a cabo por ONG, ha sido el de intentar implantar, en los países o zonas en vías de desarrollo, tecnología fabricada y diseñada exclusivamente en los países impulsores de dichas iniciativas. Al actuar de esta manera, no se suelen tener en cuenta los recursos y necesidades del país en el que se usarán estas tecnologías extranjeras. En estos casos, lo más común es que al instalarlo en el país en desarrollo destinatario de la ayuda, surjan problemas que no se tuvieron en cuenta en los países de origen y que, finalmente, no sea factible para el país continuar desarrollando la actividad [2], [6]. En relación a este problema, surge el concepto de Tecnología Apropiada.

La Tecnología Apropiada (TA), se puede definir como aquella tecnología que está diseñada poniendo especial atención en los aspectos medioambientales, éticos, culturales, sociales y económicos de la comunidad a la que se dirigen. Teniendo en cuenta estas consideraciones, la TA normalmente demanda menos recursos, es más fácil de mantener, presenta un menor coste y menor impacto sobre el medio ambiente. [7]

Para que se desarrolle la producción en un país, en general, la creación de nuevas tecnologías o la mejora de las existentes son factores fundamentales. Por ello, la cooperación técnica, por parte tanto de ONG como de Universidades, será determinante a la hora de llevar a cabo de manera efectiva la cooperación al desarrollo.

Por otra parte, las tecnologías locales propias del país beneficiario de la ayuda, suelen estar bien adaptadas a las condiciones medioambientales, económicas y sociales del lugar, gracias a que se han desarrollado y utilizado durante largos periodos de tiempo por los habitantes. Además, suelen emplear materiales locales, lo que facilita el mantenimiento y la reparación del equipamiento. Sin embargo, frecuentemente se trata de tecnologías que ofrecen una producción y unos ingresos insuficientes de cara al mercado nacional o internacional y, por tanto, necesitan mejorar para suponer un desarrollo verdaderamente representativo.



Figura 5: Características de las Tecnologías Apropriadas

El término de la Tecnología Apropriada adquirió relevancia durante la Crisis del petróleo de 1973 y con el movimiento ecologista de los 70s. Surge como una alternativa al problema de la falta de efectividad al implantar tecnologías modernas en otros países. Actualmente, el uso de este tipo de tecnologías se ha extendido en muchas ONG y es utilizada en numerosos proyectos de desarrollo y lucha contra la pobreza.

En el tipo de proyecto que se está desarrollando en este trabajo, el concepto de la TA se referirá más concretamente a aquella tecnología que consideramos más adecuada para realizar la propuesta y solucionar el problema de forma efectiva. Por tanto, la elección de los métodos de fabricación y el diseño, se basará en TA. De esta forma, se diseña y se construye un producto que se podrá fabricar y comercializar en comunidades aisladas de red eléctrica de forma independiente a esta universidad.

2.2. Requerimientos y características locales

Las características locales que influirán principalmente a lo largo de este proyecto a la hora de escoger los mejores métodos para construir el prototipo serán:

- Las condiciones climatológicas de Miraflores: habitualmente cuentan con una humedad y unas temperaturas muy altas, que el prototipo tendrá que soportar.
- Exposición a caídas y suciedad: Los componentes deberán estar lo más aislados posible.
- Posibilidad de arreglar fácilmente averías evitando desechar todo el prototipo.
- Manejo sencillo para los pobladores que carecen de conocimientos de este tipo de tecnología.
- El coste del prototipo debe ser lo menor posible, siempre asegurando que reúna el resto de requisitos.

Estos factores serán decisivos a la hora de valorar las propuestas de diseño y fabricación del cargador solar.

Además, basándonos en la filosofía de las tecnologías apropiadas, se han de tener en cuenta otros requerimientos como son la participación y opinión de la población y la sostenibilidad medioambiental del proyecto (*véase la figura 5*).

La filosofía de la TA ha ido evolucionando con el tiempo, reflejando los cambios que se han generado en el pensamiento sobre cuál es la mejor manera de propiciar el desarrollo en zonas empobrecidas. En esta evolución destacan por encima del resto tres principios que han de tenerse siempre en cuenta cuando se quiere implantar TA:

- El nivel de conocimientos de la población local.

Originalmente, estas tecnologías se diseñaban de forma independiente al contexto donde se iban a implantar. Sin embargo, con el tiempo los programas se han centrado más en mejorar las técnicas y tecnologías ya desarrolladas por la población local, que suelen encajar a la perfección con sus costumbres, necesidades y conocimientos. No obstante, también se establecen nuevas tecnologías, pero siempre teniendo en cuenta que sean manejables y comprensibles para los pobladores.

En el caso concreto de nuestro proyecto, la implantación y el mantenimiento de los cargadores se llevarán a cabo por parte de estudiantes y profesorado de la Universidad de Estelí, situada a unos 41km de distancia de la reserva. Aun así, se proveerá de un manual de uso y reparación a los beneficiarios para evitar que sean siempre dependientes del personal universitario.

- La participación de la población.

Todos los usuarios y beneficiarios de nuevas tecnologías deben ser consultados, a fin de analizar cuáles son sus necesidades, si la nueva tecnología es realmente adecuada, quién se beneficiará, quién la controlará y velará por su mantenimiento, y qué impacto socioeconómico puede ocasionar.

Este punto estará asegurado en nuestra causa ya que la necesidad fue detectada en primer lugar por una estudiante nicaragüense y realizó un sondeo previo sobre la misma.

- La sostenibilidad medioambiental.

Este principio implica que se deben reducir los residuos, incrementar la eficiencia en el uso de los recursos, y sustituir los productos y procesos dañinos para el medio. Esta condición se hace aún más necesaria en la situación en la que se implantará el dispositivo, ya que Miraflores se trata de una Reserva Natural Protegida en la que se debe respetar la flora y la fauna, de forma que no se altere de ningún modo el medio natural.

[8]

Cabe destacar, que en este caso se pondrá más atención en generar un producto factible, eficaz y de buena calidad (lo que implica larga duración y menos residuos) que en utilizar tan sólo insumos provenientes de Nicaragua.

Gracias a los envíos internacionales, que se encuentran totalmente normalizados, los componentes que utilizaremos podrán ser adquiridos a través de Internet y enviados a donde sea preciso. Esta medida se hace necesaria en los casos en los que los comercios nicaragüenses no ofrecen los componentes esenciales, necesarios para la construcción del prototipo.

3. Estado del arte

3.1. Cargador común (AC-DC)

Actualmente, el cargador que se encuentra más popularizado en el mercado es el cargador común, el cual transforma los 230VAC que habitualmente llegan a través de la red eléctrica en los 5 VDC que son necesarios para cargar la batería de un dispositivo de bajo voltaje.

Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, para este proyecto se tomará la energía directamente de la batería conectada a la placa solar, la cual nos proporcionará Corriente Continua (DC). Es por este motivo por el cual el circuito que se va a implementar se parecerá más al que puede encontrarse en un cargador de móvil para coche, ya que éste obtiene la corriente directamente de la batería del mismo, cuyo voltaje de salida es 12 VDC también.

Tendrá sentido entonces, investigar más en profundidad este último tipo de cargadores DC-DC, cuyo circuito se asemeja en gran medida al que será necesario para el prototipo que se llevará a cabo.

A pesar de que es conveniente comparar la tecnología de cargadores de coche con la del prototipo que se pretende diseñar, primero se explicará brevemente el funcionamiento y los componentes que se pueden encontrar en el habitual cargador AC-DC. Esto es interesante ya que, antes de realizar el prototipo, en la comunidad solo se contaba con este tipo de cargadores que los habitantes conectaban al inversor, ocasionando los problemas que ya se han explicado. Además, el funcionamiento de los cargadores AC-DC también ha aportado información relevante para la posterior construcción de los circuitos DC-DC.



Figura 6: Cargadores comunes AC-DC (Apple vs. Marca blanca) [9]

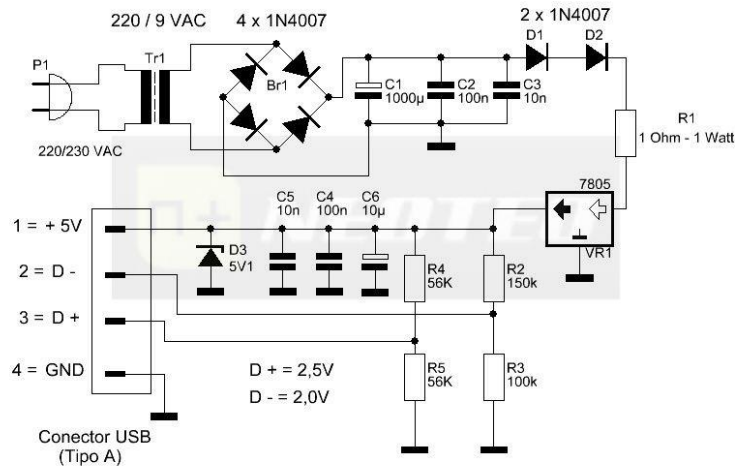


Figura 7: Circuito cargador AC-DC [10]

Como se puede observar en la *figura 7*, un cargador AC-DC consta de varias etapas de potencia. En este ejemplo, primero se hacen pasar los 220VAC por un transformador que disminuye la tensión, después por un rectificador de onda completa y posteriormente por diversos condensadores que actuarán como filtro de componentes de frecuencia y adecuarán la señal para que sea DC.

De esta manera, se consigue obtener los 5V de salida que hacen posible la carga de dispositivos. Por otra parte, puede observarse que los pines D- y D+ representados en el conector USB, se conectan a divisores de tensión. Esta parte del circuito no carga realmente la batería, pero posibilita que el cargador funcione para marcas como Apple, la cual añade distintas tensiones a los pines de datos para limitar a sus usuarios el uso de otros cargadores [9], [10].

El precio de un cargador común es de aproximadamente 5€, pudiendo ser éste más elevado cuantas más salidas USB posea y más corriente pueda aportar.

3.2. Cargador común de automóvil (DC-DC)

Como se menciona anteriormente, el funcionamiento y los componentes del prototipo que se llevará a cabo, serán muy parecidos a los de un cargador para coche (DC-DC). A continuación, se pueden ver un ejemplo de los cargadores estándar que se pueden encontrar en el mercado.



Figura 8: Cargador para automóvil

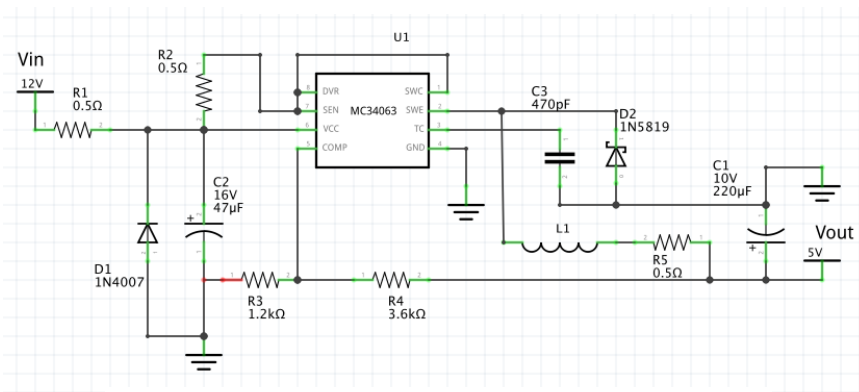


Figura 9: Circuito interior de un cargador de automóvil

El componente principal del circuito de la *figura 9* es el MC34063 y los componentes que le acompañan son los necesarios para configurar el regulador de forma que se obtenga un circuito reductor de voltaje. También juegan un papel importante las resistencias R3 y R4, con las cuales se puede modificar el valor del voltaje de salida, lo que se refleja en la siguiente fórmula (la cual se puede encontrar en la datasheet del MC34063 junto con el resto de valores de los componentes):

(1)

$$V_{out} = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right)$$

En este caso, el circuito está configurado de forma que entregue 5V y 500mA recibiendo 12V a la entrada. El precio de estos cargadores es alrededor de 10€ y también será más elevado según sus salidas USB y la corriente que sea capaz de aportar [11].

3.3. Cargador solar

A lo largo de este capítulo, se han presentado las opciones que podemos encontrar en el mercado en cuanto a cargadores de distintos tipos, sin embargo, el estado del arte de este proyecto tendrá relación directa con los cargadores solares.

Dado que los cargadores solares son un producto relativamente novedoso, se observa que su uso cotidiano aún no se ha generalizado, lo que implica la ausencia de información técnica de los mismos en la red. Por este motivo, no ha sido posible encontrar detalles o imágenes del interior de los cargadores que ahora mismo se pueden encontrar en el mercado. No obstante, si se puede encontrar una gran variedad de cargadores solares a la venta, a continuación, se presentan y se comparan algunos ejemplos.

- Cargador Solar Xtorm Platinum Mini



Figura 10: Ejemplo 1: Cargador Solar básico con Panel FV [12]

El primer ejemplo que se expone es un cargador sencillo, con una batería incorporada de 1200mAh, con una capacidad bastante por debajo de las que podemos encontrar en los *smartphones* más actuales, y un panel de 0,44W. Con estas características, el tiempo de carga de la batería del cargador es de entre 16 y 18 horas. Aporta 0,5A a la salida por lo que podemos suponer que la carga de un dispositivo será considerablemente lenta. Su principal ventaja es que es ligero y compacto, puede ser un recurso para ocasiones de emergencia, aunque no será muy práctico para realizar cargas periódicamente [12]

- Cargador Solar Xtorm Basalt con doble Salida USB



Figura 11: Ejemplo 2: Cargador Solar con Panel FV de alta eficiencia [12]

En segundo lugar, en la *figura 11* se presenta otro cargador del fabricante *Xtorm* de nuevo, con características superiores al presentado anteriormente. Este modelo incorpora un panel de 1,1W y una batería de 3000mAh, lo cual se acerca bastante a la capacidad de batería de los *smartphones* y, por tanto, tiene capacidad para cargar un móvil sin recibir más energía una vez que su propia batería está cargada. Además de poseer mayor potencia, el panel en este caso posee la tecnología *MPPT (Maximum Power Point Tracking)* la cual posibilita la carga incluso con peores condiciones de sol. Por último, en cuanto a los tiempos de carga, la batería del cargador tardará entre 11 y 12 horas al sol, mientras que los dispositivos electrónicos pueden cargarse entre 3 y 4 horas si la batería del cargador está completa. Este tiempo de carga de dispositivos es posible gracias a las salidas a 2.1A y 1A (5VDC) que se encuentran en el cargador [12].

- ReadySet Solar Kit

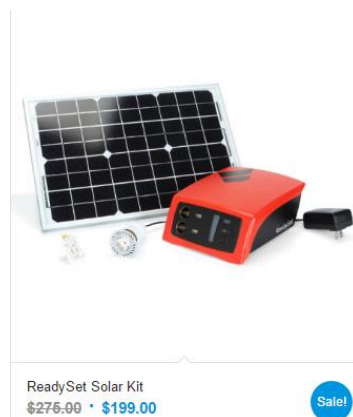


Figura 12: Ejemplo 3: ReadySet Solar [13]

El ReadySet Solar Kit, el cual se puede ver en la *figura 12*, es un producto de mayor calidad, lo cual provoca su elevado precio. Se diseñó especialmente para operar en países como Uganda y Tanzania, ofreciendo una alta durabilidad de la batería, que es lo que primero suele estropearse en este tipo de productos con un elevado uso diario. [13] Tiene dos salidas USB de 1A cada una y dos salidas CLA (*Cigarette Lighter Adapter*).

- *Cargador Solar Xtorm Lava Charger*



Figura 13: Ejemplo 4: Xtorm Lava Charger [12]

Al comparar los distintos cargadores, se puede observar que la tendencia suele ser que lleven el panel solar incorporado. Mediante la búsqueda de los productos que se pueden encontrar actualmente en el mercado, no se encuentran dispositivos con las mismas características que el que se propone en este proyecto (10 salidas USB y conexión directa a una batería, sin panel incorporado). Además, se observa que, para encontrar un producto de mayor calidad, el precio aumenta en gran medida.

El diseño que se va a llevar a cabo deberá ser de la mayor calidad y durabilidad posible, al menor coste.

3.4. Convertidores reductores (Buck Converter)

Antes de comenzar con el desarrollo de la solución, cabe profundizar en la tecnología de los convertidores reductores (Buck Converter), ya que el estado de desarrollo de estos circuitos también será determinante para la elección de los componentes del prototipo.

Para comprender mejor el funcionamiento del circuito de nuestro sistema, es conveniente analizar el proceso por el cual pasa la tensión de entrada, desde que entra hasta que finalmente se convierte al valor deseado de salida.

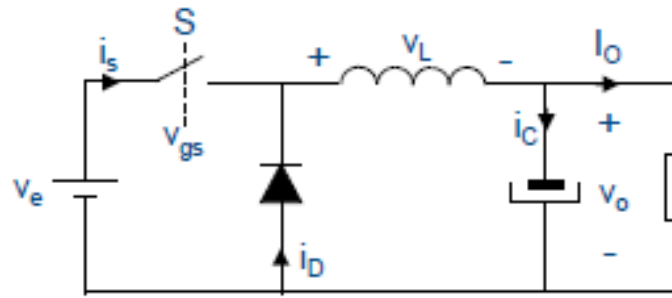


Figura 14: Convertidor Reductor DC/DC sin aislamiento [15]

A pesar de que la forma más sencilla de reducir el voltaje es un divisor de tensión, esta implementación no suele ser práctica ya que siempre se sufrirán pérdidas muy elevadas en forma de calor. Es por ello que, para implementar un reductor de voltaje, lo más común será diseñar un circuito como el representado en la *figura 14*. Para explicar la funcionalidad básica del circuito, el análisis se basará en un convertidor ideal sin aislamiento galvánico [14], [15].

Para el cargador que se pretende desarrollar V_e tomará el valor de 12 VDC y V_o deberá ser igual a 5 VDC. El circuito de la *figura 14* tendrá dos configuraciones distintas dependiendo del estado en el que se encuentre el interruptor S , la velocidad de conmutación determinará los periodos T_{on} y T_{off} , de los cuales depende la tensión de salida.

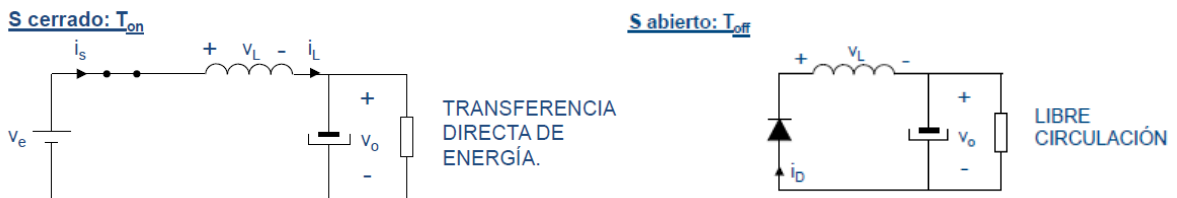


Figura 15: Circuito obtenido al variar la posición del conmutador [15]

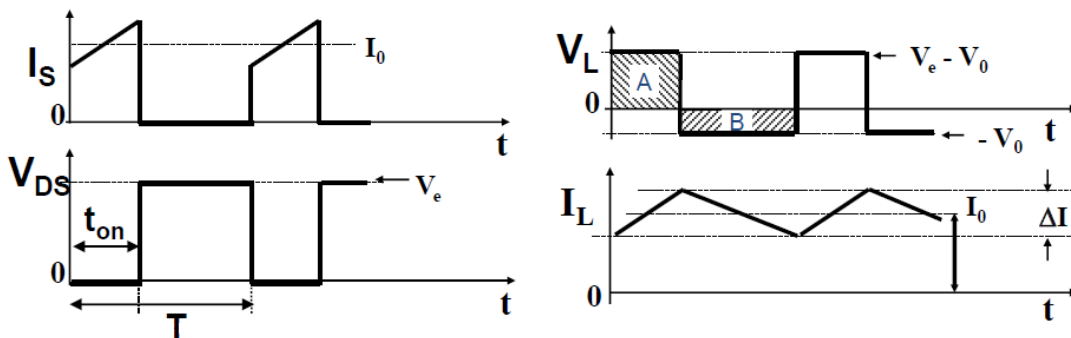


Figura 16: Tensión y corriente en el conmutador y en la bobina [15]

En la *figura 15* se observa cómo quedan distribuidas las corrientes que atraviesan el circuito según la posición del conmutador S. El periodo durante el cual el conmutador está cerrado, se corresponde con T_{on} . T_{off} representa el periodo en el que S está abierto. Durante T_{on} , la tensión y la corriente de la fuente son consumidas directamente por la bobina y el resto del circuito. La bobina (L) almacena corriente, de manera que mientras el circuito permanece cerrado, el rizado de corriente Δi_L posee una pendiente creciente (véase la *figura 16*) la cual está determinada por la siguiente ecuación:

(2)

$$\Delta i_L = \frac{V_L}{L} \Delta t$$

Por otra parte, cuando S permanece abierto, la pendiente del rizado de la bobina debe decrecer lo mismo que creció durante T_{on} , ya que de otra forma actuaría en régimen transitorio y para el tipo de convertidor que se quiere obtener, la bobina siempre debe trabajar en régimen permanente. Para ello, se rige por la misma ecuación (2) pero con pendiente negativa, de forma que Δi_L e I_L serán constantes. Al mismo tiempo, V_L cambiará su valor según la posición de S, dando lugar a $\bar{V}_L = 0$, tal y como se aprecia en la *figura 16*. En cuanto a la tensión y la corriente en el conmutador (I_S y V_{DS}), no circulará corriente cuando S esté abierto y cuando esté cerrado la corriente será la que impone la bobina. Por otro lado, V_{DS} marca los periodos de abierto y cerrado en los que se aporta y no se aporta la tensión de la fuente V_e al resto del circuito.

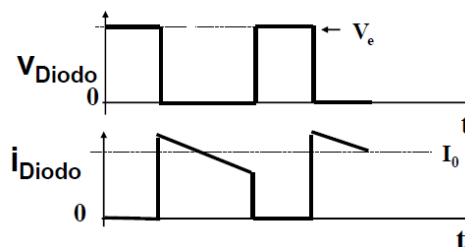


Figura 17: Corriente y tensión en el diodo [15]

En cuanto a la corriente en el diodo, no circulará mientras que el sentido de la corriente sea el marcado por V_e , es decir, mientras que S esté cerrado. Cuando S esté abierto, el diodo dejará de consumir tensión y permitirá que pase la corriente, permitiendo a su vez la descarga del condensador que almacenó la tensión mientras V_e la aportaba.

Por último, es posible hallar la función de transferencia que determinará la tensión de salida V_o tan sólo analizando la tensión v_L (véase la *figura 18*).

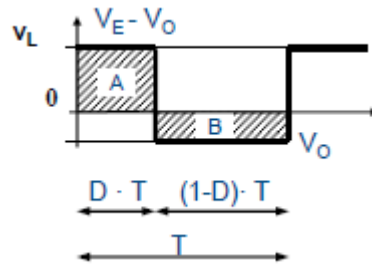


Figura 18: Tensión v_L con T_{on} y T_{off} en función de D [15]

Sabiendo que la tensión en la bobina debe ser constante (3), igualamos las áreas de la figura y obtenemos la función de transferencia (4).

(3)

$$\overline{v_L} = V_L = 0$$

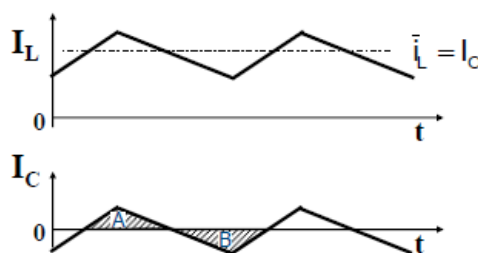
(4)

$$(V_E - V_O) \cdot D = (1 - D) \cdot V_O$$

$$V_O = V_E \cdot D$$

donde $D = \frac{T_{on}}{T_{off}}$

Faltaría por determinar el valor de corriente obtenido a la salida (I_O), el cual se puede obtener aplicando la condición de corriente media nula en el condensador (véase figura 19), de forma que la corriente en la bobina sería siempre la aplicada a la carga, tal y como se puede deducir a partir de las figuras 14 y 15.



(5) Figura 19: Comparación entre la corriente en la bobina y en el condensador [15]

$$\overline{i_C} = 0 \rightarrow \overline{i_L} = I_O = \frac{V_O}{R_O}$$

Por último, I_O también se podrá hallar a partir de los valores de tensión y resistencia de la carga, ya que se está trabajando en DC.

Cabe destacar que en determinados casos la carga requiere una cantidad de energía tan pequeña que puede transferirse en un tiempo menor que el periodo de conmutación T , lo cual provoca que la corriente que circula a través de la bobina caiga a cero durante una parte de T . En este caso, la principal diferencia con el funcionamiento descrito anteriormente es que el inductor está completamente descargado al final del ciclo de conmutación (véase *figura 20*), lo cual influye en las ecuaciones planteadas y en la función de transferencia final (6).

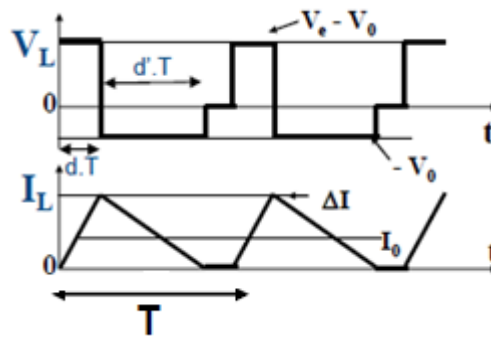


Figura 20: v_L e i_L en Modo de Conducción Discontinuo [15]

(6)

$$V_O = V_e \cdot \frac{2}{1 + \sqrt{1 + 4 \cdot \frac{K}{D}}}$$

$$K = \frac{2 \cdot L}{R_O \cdot T}$$

Una vez explicados los fundamentos en los que basa la tecnología actual de convertidores reductores DC/DC, se puede llegar a la conclusión de que el reto que se presenta para el desarrollo de estos circuitos es el de conseguir la máxima eficiencia. Esto se está consiguiendo implementando los convertidores en forma de circuitos integrados, los cuales pueden ser autorregulables y con una alta eficiencia.

4. Soluciones propuestas

La necesidad que se expone en este proyecto, fue detectada en un principio por una estudiante de la Universidad de Estelí (Nicaragua). A pesar de que ella no reside en las comunidades de Mirafior, conocía de cerca este problema e intentó proponer una solución usando los medios de su universidad. Gracias a esta iniciativa, obtuvo el Primer Premio Internacional de Tecnologías Apropriadas de la Universidad Carlos III, y se pudo llevar a cabo la colaboración entre la UC3M y la Universidad de Estelí, haciendo posible la mejora de su propuesta tecnológica, siempre teniendo en cuenta los principios en los que se basa la tecnología apropiada (véase el capítulo 2).



Figura 21: Producto que se propone obtener [3]

Desde allí se recibió la propuesta de crear un cargador solar con 10 salidas USB, para así cubrir la necesidad de las comunidades, cuyos habitantes habitualmente comparten las fuentes de energía (véase la figura 3). El objetivo de la propuesta era mejorar el prototipo que desde Nicaragua se diseñó y se construyó inicialmente, el cual se analiza en el apartado “Primera propuesta”.

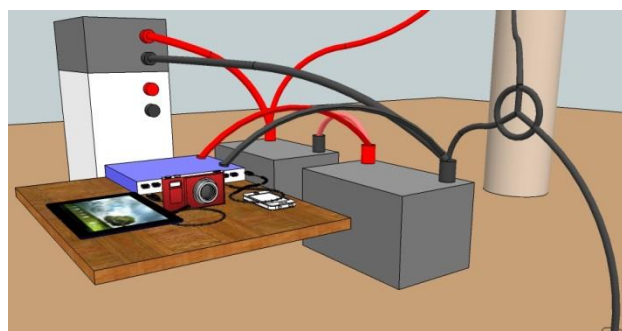


Figura 22: Situación de las conexiones del cargador [3]

4.1. Primera propuesta

Al diseñar el primer prototipo en Nicaragua, se basaron en la funcionalidad básica que debía cumplir el circuito, reducir el voltaje de 12VDC a 5VDC. A continuación, se detalla en profundidad el circuito que implementaron inicialmente.

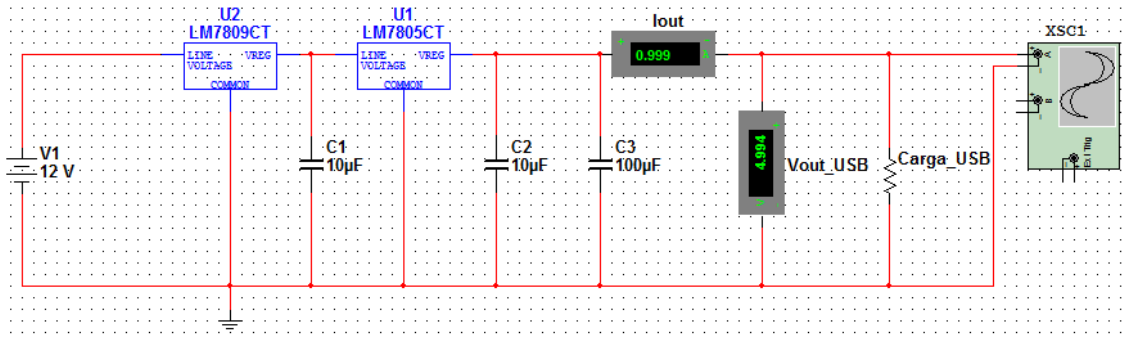


Figura 23: Etapa individual del circuito de la Propuesta 1. Simulación en Multisim

El prototipo cuenta con cinco etapas en paralelo (véase la figura 26) como la que se representa en la figura 23, a excepción de los medidores de voltaje y corriente. Cada etapa se compone de dos reguladores de voltaje, el LM7809 y el LM7805, los cuales reducen la tensión de la batería conectada de 12V a 9V y, seguidamente, a los 5V de salida necesarios, además limitan la corriente de salida a 1A.

No obstante, encontramos un gran inconveniente en los componentes elegidos, ya que disipan una gran cantidad de calor que no es posible contrarrestar a pesar de añadir disipadores al circuito. Este hecho es de gran relevancia debido al uso que se le dará al prototipo, que normalmente estará sometido a condiciones climáticas con temperaturas elevadas y alta humedad, por lo que necesitará disipar el mínimo calor posible. Además, estas pérdidas también suponen un gasto de energía considerable que no debería ser permitido para que el prototipo sea práctico.

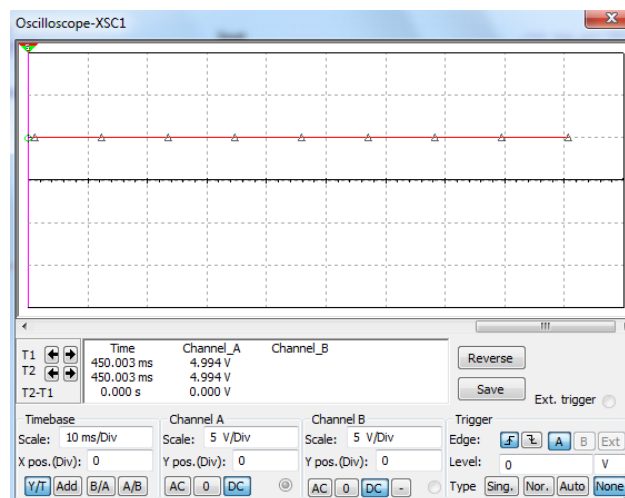


Figura 24: Señal V_{OUT} (DC) obtenida en la simulación

A continuación, se puede observar en la *figura 25* el resultado que obtuvieron al construir el diseño en una protoboard.

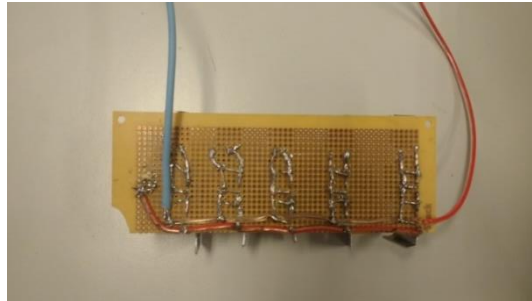


Figura 25: Prototipo inicial, parte inferior

Tal y como refleja la imagen anterior, además del inconveniente de la temperatura, la forma en la que construyeron el prototipo no cumplía con las condiciones del producto que se pretendía obtener. En primer lugar, las soldaduras y los cables eran muy susceptibles de deteriorarse con facilidad, tanto por estar desprotegidos como por la escasa precisión de las conexiones.

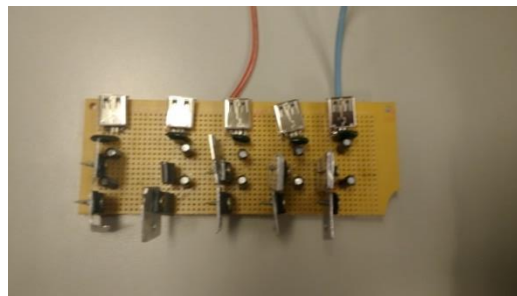


Figura 26: Prototipo inicial, parte superior

Por otra parte, tanto el tamaño de la protoboard como el de los disipadores, era bastante desproporcionado para la apariencia del prototipo que se esperaba conseguir.

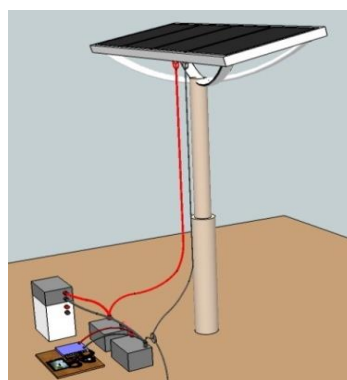


Figura 27: Esquema virtual de las conexiones del sistema

El coste estimado para los componentes de esta propuesta, en el caso de contar con 10 salidas USB será el siguiente:

Descripción del producto	Cantidad	Precio (€)	Subtotal (€)
Regulador LM7809	10	0,546	5,46
Regulador LM7805	10	0,511	5,11
Conector hembra USB 2.0	10	0,474	4,74
Condensador 10 μ F	20	0,13	2,6
Condensador 100 μ F	10	0,144	1,44
Placa con pistas	1	6,9	6,9
Disipador de calor	10	0,25	2,5
TOTAL			28,75

Tabla 1: Costes estimados de los componentes de la propuesta 1

Como comprobaremos a continuación, el coste de esta propuesta será muy inferior al del resto de diseños, no obstante, estos valores no son representativos ya que carecen de elementos que serán imprescindibles para el diseño final, como la carcasa o los diodos protectores (con lo que sumarían un total de 50€ aproximadamente).

Una vez estudiado el primer prototipo propuesto, se hacen apreciables varios puntos a mejorar que se deberán tener en cuenta para el diseño del resto de propuestas:

- Se deben incluir componentes convertidores con mayor rendimiento para obtener un circuito que no se caliente y, de esta manera, evitar la necesidad de colocar disipadores y las pérdidas energéticas.
- Limpieza y simplicidad de las conexiones para posibilitar la reparación a manos de personas sin conocimientos técnicos electrónicos.
- Introducir el circuito en una caja contenedora adecuada para su protección contra el exterior.
- Añadir componentes de seguridad interna del circuito, como un diodo a la entrada de 12VDC para evitar que el circuito se deteriore si se alimenta a 12VDC y otro para disminuir el riesgo frente a sobretensión, en caso de que alguien conecte el dispositivo a la salida del inversor, alimentándolo a 110VAC.
- Se necesitaría seguridad frente a tensión variable, para prevenir que se estropee en caso de conectarlo directamente al panel FV o a una batería que no regule correctamente el voltaje.

4.2. Segunda propuesta

La segunda propuesta se desarrolló durante la estancia de la estudiante nicaragüense en la UC3M, lo cual formaba parte de la recompensa por obtener el Premio Internacional de Tecnologías Apropriadas, del que fue receptora gracias a su propuesta [3]. Para llevar a cabo este diseño, se dispuso de tan sólo un mes y medio para el desarrollo y las pruebas en el laboratorio, ya que el objetivo final de la estancia era que se pudiese trasladar a Nicaragua el prototipo e instalarlo allí para analizar los resultados de su implantación.

Debido a que el tiempo era limitado, se tuvieron en cuenta las mejoras más importantes que habían de llevarse a cabo y se procedió a la construcción del prototipo en el laboratorio.

Los componentes principales que se debían cambiar en el circuito inicial eran los reguladores de voltaje, los cuales era necesario sustituir por un convertidor de 12 a 5VDC de alto rendimiento que no disipe calor y ofrezca mejor calidad. Para ello, contando con el consejo de profesionales de la UC3M, se consideraron tres opciones de circuitos integrados: R-78E, R-785.0-1.0 y TSR 1-2450.

R-78E [16] tiene unas prestaciones prácticamente idénticas al R-785.0-1.0 [17], la mayor diferencia reside en el rendimiento ya que el primero posee un 91% y el segundo un 94%. Por otra parte, el R-785.0-1.0 dispone de una protección térmica lo cual puede ser recomendable ya que la carcasa en la que se situará la placa será semi-estanca. El precio del R-78E es de aproximadamente 3,82€, mientras que el precio del otro convertidor es casi el triple.

TSR 1-2450 [18], fabricado por TRACO POWER, ofrece un rendimiento del 96% y tiene garantía de 3 años. Además, se tienen buenas referencias del fabricante lo cual se traduce en mayor fiabilidad. Este componente se encuentra a la venta por 4,4€, por tanto, se presenta como la mejor opción. En cuanto a la corriente de salida que aportarán los distintos componentes integrados, las tres opciones aportan $I_{O\ MÁX} = 1\text{ A}$.

La corriente necesaria para alimentar la batería de un dispositivo electrónico de bajo voltaje (*Smartphones, Tablets, cámaras...*) depende de la capacidad que posea la misma. Es decir, cuanto mayor sea la diferencia entre el amperaje soportado por la batería y la corriente suministrada por el cargador, más tardará en completarse la carga. Además, si el cargador suministra más corriente de la que soporta la batería, esto puede provocar la destrucción de dicha batería, por tanto, el valor $I_{O\ MÁX} = 1\text{ A}$ será válido y evitará dicho problema, ya que la mayoría de los dispositivos se cargan a más de 1 A.

Cabe destacar que, a lo largo del proyecto, siempre se ha comprobado que sea posible la adquisición de los nuevos componentes desde Nicaragua a través de páginas que ofrecen envíos internacionales, como Mouser Electronics [19].

Además del convertidor, se han de cambiar o añadir protecciones al circuito. El componente conversor escogido posee protecciones internas frente a cortocircuito y sobretensión (puede recibir hasta 36VDC a la entrada). Sin embargo, es conveniente proteger el circuito por duplicado para evitar el riesgo que supondría que alguien se equivoque y conecte el circuito a 110VAC en vez de a los 12VDC de la batería. Para protegerlo frente a este posible error, se debe colocar un diodo Schottky a la entrada. Por último, se añade a cada etapa un diodo LED junto con una resistencia en serie de 220Ω para comprobar que cada uno de los subcircuitos está funcionando.

Implementando las características expuestas anteriormente, diseñamos el siguiente circuito:

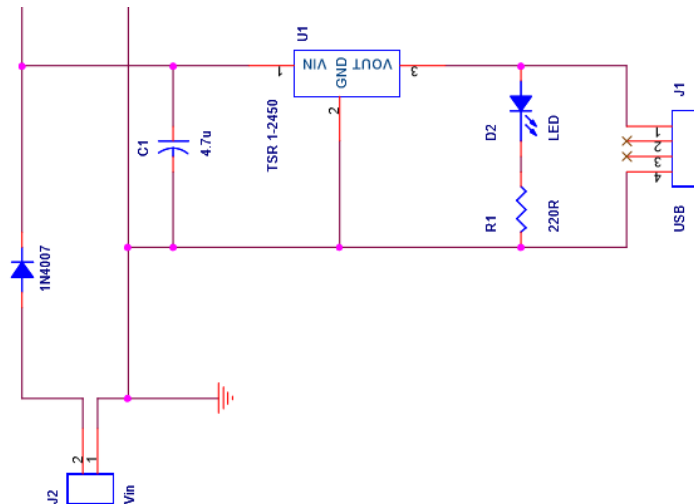


Figura 28: Diseño del circuito de la propuesta 2

El diseño que se expone hasta este punto será el que se analizará a en los apartados 5.3, 5.4 y 5.9, ya que, hasta ahora, es el prototipo que se ha podido llevar a Nicaragua.

Sin embargo, en la UC3M se prosigue con la investigación para mejorar el prototipo e ir comunicando las posibles mejoras a la Universidad de Estelí. Además, para apoyar la implementación de dichas mejoras y hacer el seguimiento de las pruebas de forma presencial, contarán con la profesora que ha dirigido este trabajo, que viajará a Estelí en unos meses.

El coste estimado para esta propuesta se detalla a continuación:

Descripción del producto	Cantidad	Precio (€)	Subtotal (€)
Convertidor DC/DC: TSR 1-2450	10	4,4	44
Condensador 4,7µF	10	0,136	1,36
Conector hembra USB 2.0	10	0,474	4,74
LED	10	0,08	0,8
Diodo Schottky 1N4007	10	0,162	1,62
Resistencia 220 Ω	1	0,121	0,121
Placa con pistas	1	7,5	7,5
Carcasa protectora	1	19,42	19,42
TOTAL			79,561

Tabla 2: Costes estimados de los componentes de la propuesta 2

4.3. Tercera propuesta

Con esta tercera propuesta se pretende disminuir considerablemente el coste del cargador y simplificar la construcción y la reparación.

Este tercer diseño constaría de 10 módulos LM2596 conversores DC-DC independientes, los cuales se pueden encontrar a la venta en diversas páginas de componentes electrónicos.

Se puede adquirir el módulo LM2596 a distintos precios según la procedencia de sus componentes. No obstante, sólo tendremos en cuenta la oferta que encontramos en páginas que envían a Nicaragua.



Figura 29: LM2596 DC to DC Voltage Reducing Converter. Price: 3,22 US [20]



Figura 30: . LM2596 DC-DC Adjustable Step-Down Module. Price: 3,16 US\$ [20]

En este diseño, los 10 módulos independientes se encajarían en la carcasa, añadiendo los USB hembra en las salidas de 5 VDC, de esta manera si uno de los módulos se estropease, simplemente se deshecha y se coloca otro nuevo en su lugar.

El coste aproximado de esta propuesta sería el siguiente:

Descripción del producto	Cantidad	Precio (€)	Subtotal (€)
Módulo LM2596	10	2,88	28,8
Conector hembra USB 2.0	10	0,474	4,74
Carcasa	1	19,42	19,42
TOTAL			52,96

Tabla 3: Costes estimados de los componentes de la propuesta 3

A pesar de su competitivo precio dadas sus características, se opta por descartar esta opción ya que los componentes de los módulos carecen de fiabilidad y no sería posible realizar cambios internos en el circuito si fuera necesario.

Otro inconveniente es que podría disipar calor como ocurría en la primera propuesta, ya que no se encuentran datos al respecto. Acerca de las protecciones, se puede apreciar que contienen diodos Schottky y, por las especificaciones, se conoce que pueden soportar hasta 30V a la entrada [20].

Por otra parte, no llevan incorporado el conector hembra USB a la salida, lo cual seguiría ocasionando la necesidad de soldar. Además, la falta de fiabilidad hace muy probable que se deban cambiar los módulos más a menudo y eso acabe ocasionando un mayor coste.

Por último, al ser un producto dependiente del mercado y con unas características concretas, podría quedarse obsoleto y dejar de fabricarse, por tanto, esta propuesta de diseño dejaría de ser factible ya que en Nicaragua quedarían desabastecidos de este componente.

5. Desarrollo de la solución

5.1. Objetivos específicos

Una vez planteada la necesidad existente y las posibles formas de llevar a cabo la solución, se plantea la consecución de una serie de objetivos concretos al finalizar el proyecto que se expone en este documento.

- Realización de un prototipo mejorado, basado en una de las propuestas expuestas, antes de final de diciembre de 2015 para que sea posible su traslado a Estelí.
- Evaluar la viabilidad de la realización del producto íntegramente en Nicaragua.
- Comprobación del adecuado funcionamiento del prototipo realizado.
- Implantación del prototipo, construido previamente en la UC3M, en las comunidades rurales de Mirafior.
- Análisis de la acogida del multicargador en Mirafior y resultados obtenidos.
- Verificación del funcionamiento del sistema fotovoltaico para el suministro del cargador solar.
- Comunicación continua con los responsables de la implantación del proyecto en Mirafior, detección de puntos de mejora y apoyo frente a los problemas o dudas que les puedan surgir durante la fase de implantación.
- Desarrollo en la UC3M de otro prototipo mejorado (de ser esto posible), en paralelo a la implantación del multicargador llevado a Estelí, comprobando que fuera igual de factible su implementación allí.
- Asegurarse de que quedan claras las pautas para que puedan realizar el proceso de construcción e implantación del multicargador de forma independiente a esta universidad en un futuro.

5.2. Organización del proyecto

Ya que a lo largo de este proyecto se ha trabajado paralelamente en la UC3M y en Estelí, es conveniente situar en el tiempo las tareas que se han ido desarrollando con el objetivo de aclarar cómo se ha llevado a cabo el proceso. Una forma de representar el proyecto frente al tiempo es un Diagrama de Gantt, como el presentado a continuación en la *figura 31*, en el cual se incluyen las restricciones temporales que han determinado la duración de las fases del proyecto.

El proyecto se puede dividir en dos partes diferenciadas: la estancia de la estudiante de Estelí en la UC3M y las tareas llevadas a cabo posteriormente.

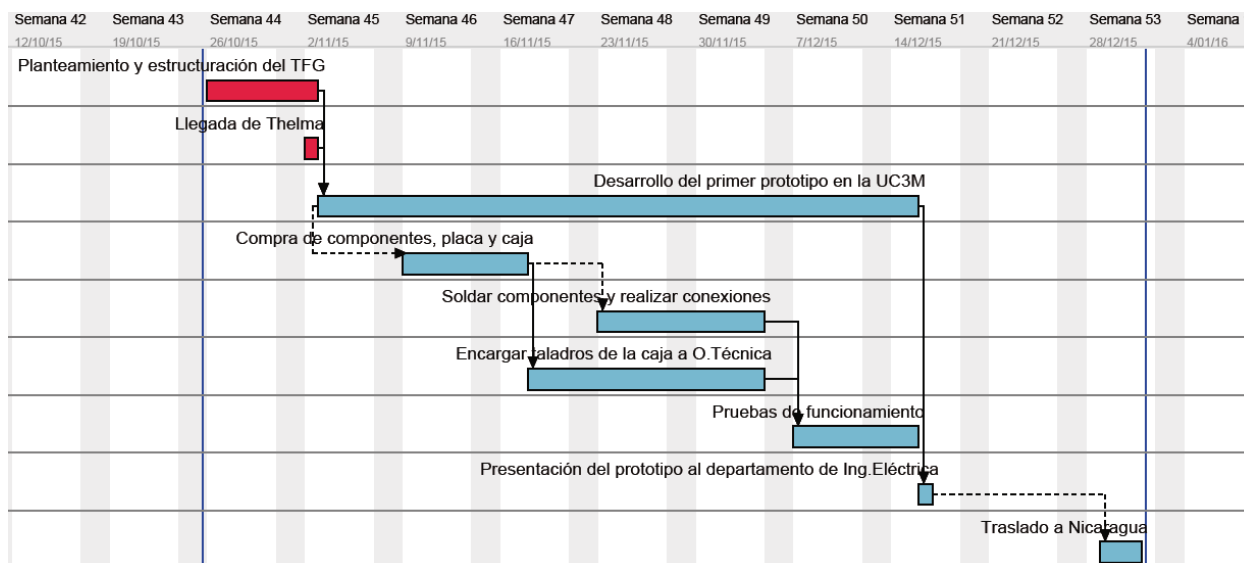


Figura 31: Diagrama de Gantt, primera parte del proyecto

Tal y como se observa en la *figura 31*, el proyecto comienza el día 26 de octubre de 2015, día en el que me es asignado el TFG (previa concesión del Premio Int. de Tec. Apropriadadas a la propuesta del multicargador). A partir de ese día, comienza a plantearse la forma en que se trabajará durante la estancia de la estudiante ganadora y los objetivos que han de alcanzarse antes de su vuelta a Nicaragua. Cabe destacar que las tareas de compra y encargo, comprenden el tiempo que transcurre desde que se envía la orden hasta que se recibe el pedido.

A continuación, se representa la segunda parte del proyecto, que se desarrolla en la UC3M posteriormente a la estancia de la estudiante. En la *figura 32*, se observa el comienzo del seguimiento de la puesta en marcha del prototipo, el cual empieza a finales de enero debido a los periodos vacacionales de Nicaragua. A mediados de abril, comienza el diseño y el desarrollo de un nuevo prototipo con todas las mejoras posibles, algunas detectadas mediante la comunicación continua que se mantiene con la estudiante desde Estelí. Se espera lo máximo posible para dar tiempo a que se detecten todos los errores o puntos a mejorar.

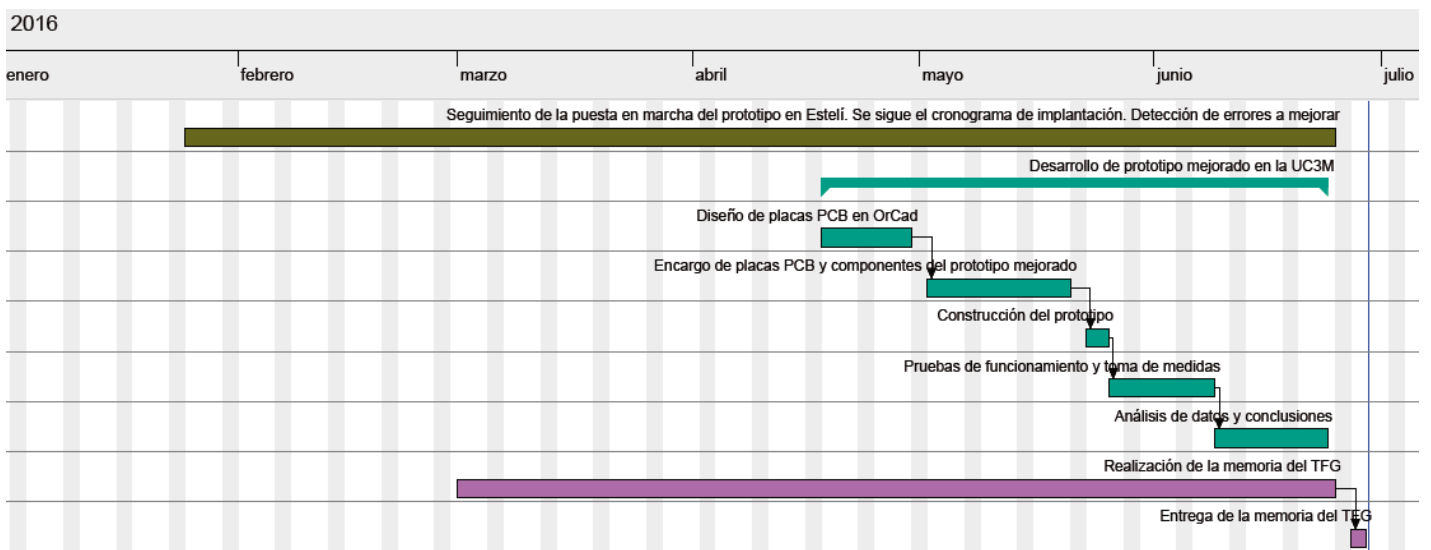


Figura 32: Diagrama de Gantt, segunda parte del proyecto

En la *figura 33*, se puede ver una representación global del proyecto, que engloba la consecución de los objetivos presentados en el apartado 5.1. No obstante, el proyecto deberá seguir en marcha posteriormente a la presentación de este trabajo, ya que desde la UC3M nos hemos comprometido a dar soporte y seguir mejorando todo lo que sea posible hasta que en Estelí puedan ser completamente independientes para llevar a cabo el multicargador.

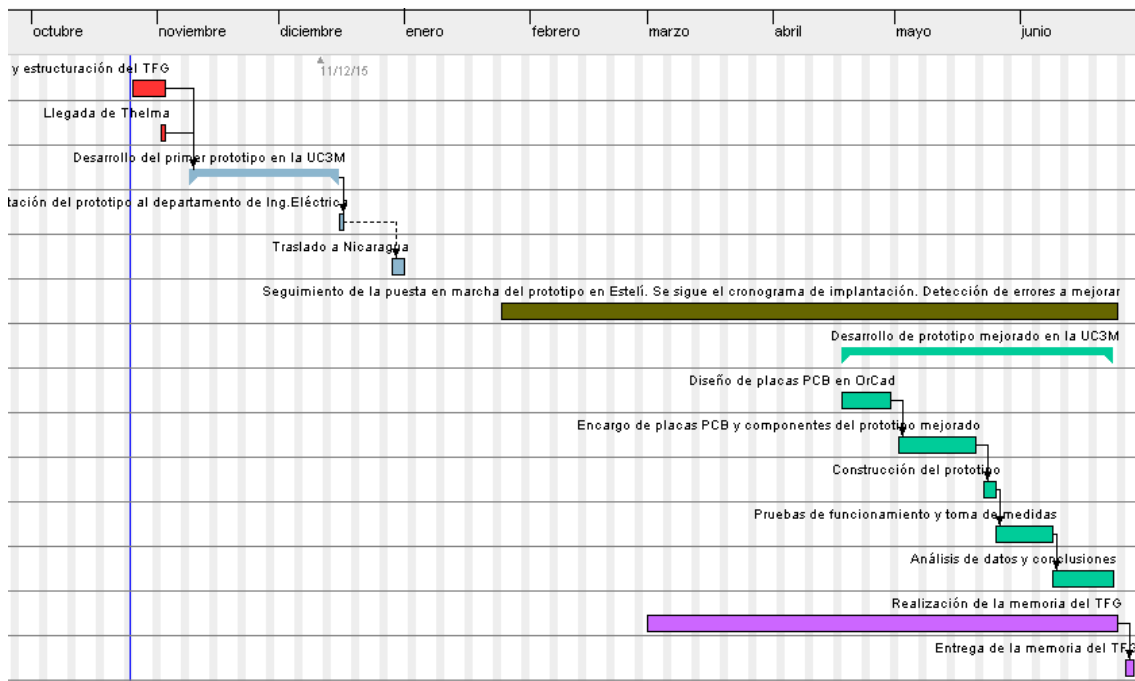


Figura 33: Visión global de la distribución del tiempo para el proyecto completo

5.3. Propuesta llevada a Nicaragua

Finalmente se construye el cargador con las especificaciones indicadas en el apartado 4.2, ya que se considera que es la opción que mejor funcionará en Nicaragua y la más adecuada según los principios de la TA.

En definitiva, lo que se busca es construir un producto adaptado a la TA, mejor que lo que se puede encontrar en el mercado, evitando componentes que puedan estar sujetos a la obsolescencia programada. Este diseño ha de ser muy fiable, seguro, debe soportar golpes, humedad, uso incorrecto y a su vez debe poder abrirse y cambiar o ampliar componentes.

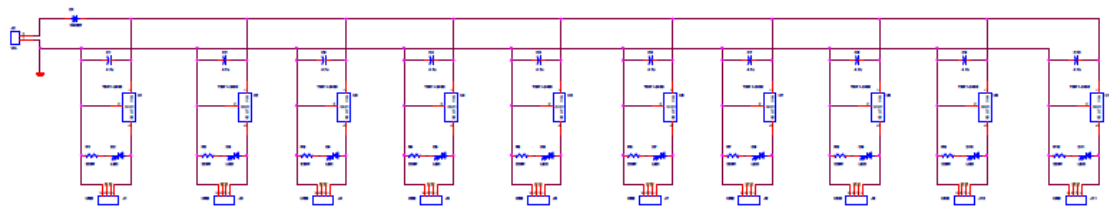


Figura 34: Esquema de la conexión de las 10 etapas

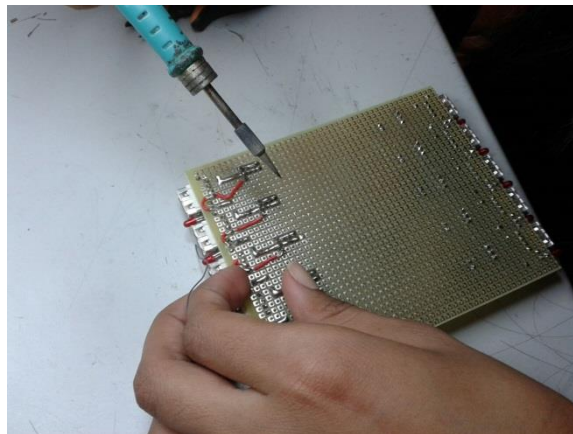


Figura 35: Proceso de fabricación del cargador: Soldaduras

Para construir el cargador se utilizaron los componentes expuestos en el punto 4.2 y herramientas del laboratorio las cuales también se pueden encontrar en la Universidad de Estelí. Dichas herramientas fueron un soldador de punta fina, un desoldador, alicates, cortacables y pinzas metálicas para pequeños componentes.

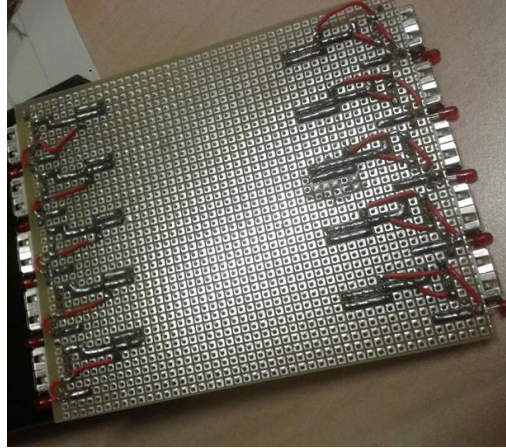


Figura 36: Proceso de fabricación del cargador: Conexiones de cada una de las 10 etapas

En la *figura 36*, queda reflejada la limpieza y simplicidad de las conexiones, que era uno de los aspectos que se pretendía mejorar respecto al prototipo que construyeron en Estelí. Esta mejora se consigue gracias a la precisión de las soldaduras realizadas y al previo diseño de la disposición de los componentes en la placa, de forma que se adapta a la perfección a las medidas aproximadas que se buscaban.



Figura 37: Proceso de fabricación del cargador: Disposición de los componentes en la placa

Por otra parte, se escoge la carcasa teniendo en cuenta principalmente:

- Que pueda contener la medida necesaria para la placa
- Resistencia a golpes
- Resistencia a altas temperaturas
- Facilidad para taladrar
- Precio
- Posibilidad de compra desde Nicaragua

Finalmente, se decide para este diseño adquirir la carcasa a través de la misma página en la que se adquieren los componentes, de forma que se amorticen los gastos de envío. No obstante, se podría contemplar la opción de fabricarla manualmente siempre que siga cumpliendo con las mismas condiciones de seguridad y no supere los costes de este diseño.



Figura 38: Proceso de fabricación del cargador: Sellado de las salidas USB y conexión de las 10 etapas a +12VDC y GND

Para terminar, se sellan los agujeros realizados en la placa previamente para las salidas USB y los diodos LED (véase la *figura 38*). De esta forma, se evita que se introduzcan insectos y humedad, ya que el cargador se situará en un lugar normalmente desprotegido de estas amenazas. Además, se colocan todas las tapas y se atornillan adecuadamente.

5.4. Prueba de funcionamiento antes del traslado a Nicaragua

Al realizar las pruebas de funcionamiento en el laboratorio, en general la carga de los dispositivos pudo llevarse a cabo de forma satisfactoria. No obstante, se detectó que el cargador no era compatible con dispositivos de marca Apple. A causa de la limitación de tiempo que se tuvo para realizar este diseño, no se pudo corregir el error antes de que el prototipo fuera trasladado a Nicaragua.

Además, durante las pruebas se observa que al tomar las medidas de la corriente en vacío se obtiene un valor más alto de lo esperado, lo cual se debe a los LED conectados a todas las salidas cuya función es indicar que cada etapa funciona. Dada esta observación, se decide implementar el siguiente prototipo sin incluir los LED.



Figura 39: Prueba de carga de 4 móviles simultáneamente

- Medidas realizadas durante las pruebas

Para comparar que la solución obtenida en la UC3M funcionaba considerablemente mejor que la que desarrollaron inicialmente en Estelí, se compararon las medidas de eficiencia al cargar un solo dispositivo. Para llevar a cabo la prueba, se utilizó un smartphone Samsung Galaxy SIII Mini, con una batería Li-Ion de 2200mAh.

Se calcula el rendimiento aplicando la siguiente fórmula:

(7)

$$n = \frac{P_s}{P_e} = \frac{I_{USB} \cdot V_{USB}}{I_{Bat} \cdot V_{Bat}}$$

Donde:

- P_s : Potencia de salida
- P_e : Potencia de entrada
- I_{USB} : Corriente que circula por el cable USB conectado al smartphone
- V_{USB} : Tensión en bornes de la salida USB
- I_{Bat} : Corriente suministrada por la batería del Panel FV
- V_{Bat} : Tensión suministrada por la batería del Panel FV

De esta manera se obtiene:

$$n_{multicargador} = \frac{0,76A \cdot 4,94V}{0,3A \cdot 13,54V} = \frac{3,78W}{4,06W} = 0,93$$

$$n_{cargadorinicial} \cong 0,64$$

$$\% \text{ Índice de mejora} = \frac{0,93}{0,64} \cdot 100 = 145,3\%$$

Para calcular el rendimiento del cargador en protoboard que se trajo desde Nicaragua, se han tenido que utilizar las medidas que hicieron allí previamente ya que el circuito no funcionó correctamente por haberse deteriorado en el traslado a España. Aun así, podemos suponer que la medida es correcta ya que está tomada por la persona que planteó y construyó ese primer circuito. A partir de los valores anteriores se demuestra que, gracias a las mejoras implementadas en la construcción del multicargador en la UC3M, se obtiene un rendimiento un 45% mayor.

Por otra parte, se toma la medida del rendimiento de un cargador de coche, el cual podemos conectar a la batería del panel ya que tiene los mismos requisitos de alimentación, como se comenta en el apartado 3.2. De esta forma, se averiguará si se ha conseguido un diseño con mejores prestaciones que los cargadores que se pueden encontrar en el mercado.

$$n_{cargadorCoche} = \frac{0,562A \cdot 4,87V}{0,25A \cdot 13,67V} = \frac{2,73W}{3,42W} = 0,79$$

$$\% \text{ Índice de mejora} = \frac{0,93}{0,79} \cdot 100 = 117,72\%$$

Los resultados obtenidos reflejan, por tanto, que se consigue además mejorar en un 18% el rendimiento de un cargador de coche comercial estándar.

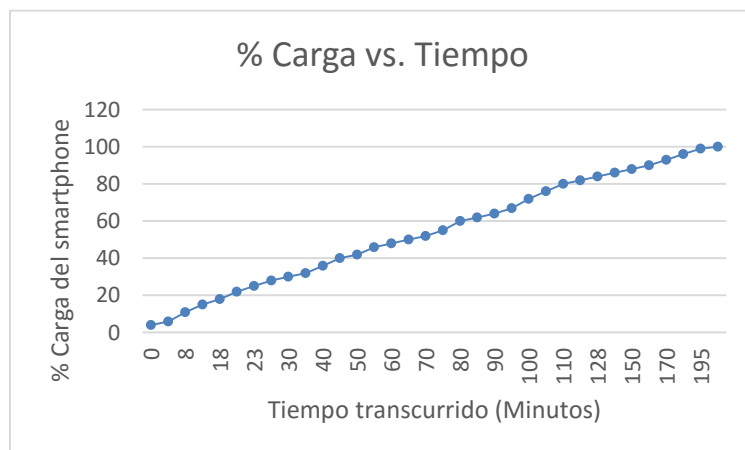


Figura 40: Tiempo transcurrido frente al porcentaje de carga: móvil Samsung

A continuación, se realiza un análisis basado en el mismo modelo de smartphone para comprobar que el tiempo de carga es razonable.

En la *figura 40*, se observa que la carga finaliza en 195 minutos (3,25h) y teóricamente la carga debería durar:

$$t = \frac{\text{Capacidad batería}}{\text{Corriente suministrada}} = \frac{2,2 \text{ Ah}}{0,76 \text{ A}} = 2,9 \text{ h}$$

Según el análisis, el tiempo real de carga es algo mayor que el esperado, lo cual puede suponerse que está provocado por el deterioro de la batería del móvil con el uso continuado de la misma.

Por último, se calcula el consumo de corriente en vacío (sin ningún móvil conectado), para determinar si el multicargador provoca un gasto de energía adicional al dejarse conectado sin estar en funcionamiento.

Hora	V Batería Panel (V)	P Batería Panel (W)
12:20:49	13,88	0,06
12:20:59	13,87	0,06
12:21:09	13,84	0,06
12:21:20	13,83	0,06
12:21:30	14,08	0,06
12:21:40	13,98	0,06
12:21:50	13,94	0,04
12:22:00	13,91	0,05
12:22:10	13,89	0,05
12:22:20	13,87	0,05

Tabla 4: Medidas tomadas en vacío con el multicargador sin dispositivos conectados

Como queda reflejado en la *tabla 4*, el multicargador consumía corriente cuando no debía estar en funcionamiento. Tras analizar los posibles motivos, se hizo evidente que los LED consumían una determinada potencia al estar continuamente encendidos.

$$P_{\text{perdidasMedia}} = 0,055 \text{ W} \rightarrow I_{\text{perdidas}} = \frac{0,055 \text{ W}}{13,91 \text{ V}} = 3,95 \text{ mA}$$

Ya que es un gasto considerable y no del todo necesario, se decidirá eliminar los 10 LED para el diseño de futuros prototipos. No obstante, se incluye un interruptor en el prototipo ya construido para evitar estas pérdidas mientras que no se le esté dando uso al multicargador.

5.5. Puesta en marcha del primer prototipo en Nicaragua

5.5.1. Cronograma seguido en Estelí

Fecha	Actividades
02/abril/2016	<p>Visita de los posibles lugares para instalar el dispositivo. Se piensa visitar el "Centro Turístico Neblina del Bosque" y los alrededores.</p> <p>En todos los lugares potencialmente adecuados para la instalación se deben seguir los mismos pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presentación general del proyecto - Comprobación de la viabilidad y disponibilidad de instalaciones adecuadas para el multicargador - Verificar que los propietarios aprobarían el proyecto de instalación en dicho lugar - Estudiar el flujo de pobladores de la comunidad, personal de trabajo y turistas que frecuentan el lugar o tienen acceso al mismo - Evaluación de la cantidad de energía disponible para el cargador y situación de la toma de corriente - Estudio del sistema fotovoltaico instalado\ficha técnica
05/abril/2016	Entrega oficial de la solicitud autorizada por la Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí en el lugar escogido. / (Recoger firma y copia)
09/abril/2016	Instalación oficial del multicargador en dicho lugar
10/abril/2016	Estudio del funcionamiento del multicargador con dispositivos disponibles en el centro turístico
11/abril/2016	Taller sobre el uso adecuado del multicargador dirigido a los habitantes y turistas de la comunidad con acceso a la posada
14/abril/2016	Toma de medidas, observación del funcionamiento del sistema de prueba, identificación de posibles errores
16/abril/2016	Segundo taller impartido a turistas y pobladores sobre la importancia de implementación y el uso del multicargador en la micro-zona.
19/abril/2016	Toma de medidas, observación del funcionamiento del sistema de prueba, identificación de posibles errores
21/abril/2016	Recolección de los datos obtenidos y análisis de resultados. Envío de datos a la UC3M.
23/abril/2016 24/abril/2016	Toma de medidas, observación del funcionamiento del sistema de prueba, identificación de posibles errores

Tabla 5: Cronograma seguido en Mirafior (Parte 1)

Fecha	Actividades
26/abril/2016	Análisis del uso del multicargador por los pobladores a través de un encuentro organizado con ellos, posibles errores o mejoras identificadas por ellos
29/abril/2016 30/abril/2016	Toma de medidas, observación del funcionamiento del sistema de prueba
03/mayo/2016	Toma de medidas, observación del funcionamiento del sistema de prueba, identificación de posibles errores
07/mayo/2016	Análisis de la posible instalación de un segundo multicargador en otra zona que cumpla los requisitos
10/mayo/2016	Envío a la UC3M de todos los resultados y feedback obtenido durante el proceso

Tabla 6: Cronograma seguido en Miraflor (Parte 2)

5.5.2. Lugar escogido para la puesta en marcha

Después de valorar distintas opciones y consultar con los propietarios de viviendas con paneles solares, se escoge la “Eco-Posada Las Palmeras” para instalar el primer prototipo. Este centro turístico está ubicado en la comunidad rural de “El Cebollal No.1 – La Sandino” situada en la Reserva de Miraflor y los propietarios están dispuestos a ceder sus instalaciones para la instalación y las pruebas del multicargador. En dicha comunidad habitan 300 personas que componen aproximadamente 75 familias, de las cuales el 45% cuenta con Sistemas Fotovoltaicos. Además, cuentan con acceso a agua potable lo cual hace que sea una comunidad más atractiva para turistas.

5.5.3. Instalaciones eléctricas de la EcoPosada Las Palmeras

La Eco-Posada cuenta con tres paneles fotovoltaicos instalados:

- Panel de 250 Wp



Figura 41: Situación del panel solar de 250Wp

El primer panel de 250 Wp que se puede ver en la *figura 41* está destinado de forma permanente a la alimentación eléctrica de un refrigerador, por tanto, no puede ser utilizado para nuestro multicargador.

- Panel de 175 Wp y de 75 Wp



Figura 42: Paneles de 75p y 175 Wp

El sistema de 175Wp habitualmente alimenta 6 bombillas de bajo consumo y otros electrodomésticos como televisores o licuadoras. También sirve para la carga de móviles tal y como se puede ver en la *figura 43*, aunque normalmente no está disponible por estar alimentando otros dispositivos de mayor necesidad.

Por otro lado, el panel de 75Wp actualmente está destinado a la alimentación de 3 bombillas de bajo consumo las cuales, gracias a un estudio llevado a cabo por una estudiante de la UC3M [21], se conoce que consumen 135,96Wh/día y sólo necesitarían un panel de 33,2Wp. Por tanto, a simple vista, éste se presenta como el sistema más adecuado para la instalación del cargador, ya que el sistema está sobredimensionado para sólo 3 bombillas.



Figura 43: Sistema de acumulación del panel de 175Wp (izq.) y del panel de 75Wp (dcha.)

Por otra parte, gracias a la información sobre la batería y el regulador obtenida a partir de la comunicación con Estelí y aplicando las consideraciones del Pliego de Condiciones Técnicas (PCT) [22] del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) se puede hallar la capacidad aportada durante 20 horas por el sistema acumulador para alimentar las bombillas. Con este cálculo, también se puede justificar la validez del sistema FV de 75Wp para la alimentación del multicargador, tal y como refleja el estudio que mencionamos anteriormente [21], dado que la capacidad total de la batería del sistema es igual a 104Ah.

(8)

$$C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{m\acute{a}x} \cdot \eta_{rb}} = 57,12Ah$$

Donde:

- A= autonomía del sistema en días (mínimo 3 días según el PCT)
- L_D = Consumo diario medio de la carga en Ah, que se calcula con la siguiente ecuación donde $V_{nom} = 12 V$ y $E_D = 135,96 \frac{Wh}{día}$ como se mencionó anteriormente

(9)

$$L_D = \frac{E_D \left(\frac{Wh}{día} \right)}{V_{nom}(V)} = 11,33 \frac{Ah}{día}$$

- $PD_{m\acute{a}x}$ = máxima profundidad de descarga (según PCT, $PD_{m\acute{a}x} < 80 \%$ y en este caso tomaremos 70 %)
- η_{rb} = rendimiento del regulador y batería $\rightarrow 85 \%$.

Valorando el cálculo presentado de la capacidad aportada durante 20 horas, se hace evidente el desaprovechamiento de corriente que podría aportar la batería (104Ah) frente a lo que realmente se está aprovechando.

5.5.4. Balance de energía en el sistema fotovoltaico antes y después de la instalación del cargador. Simulación.

En este apartado se valora el efecto que tendrá el uso del multicargador en la instalación de la Eco-Posada, de forma que se comprobará que no deja de cumplir con su cometido de alimentar las bombillas ni deteriora el sistema de ningún modo.

Para ello, el análisis se basará en los resultados obtenidos mediante una simulación que forma parte del estudio que se mencionó en el apartado anterior [21], realizada con el software PVSyst.

Para llevar a cabo el análisis, se ha supuesto preliminarmente un uso del cargador de 2 horas al día, suficiente para cubrir la carga de aproximadamente el 50% de la batería (dependiendo del tipo de batería que posea el móvil) de 10 dispositivos móviles simultáneamente.

Parámetros de la simulación			
Proyecto	Ecoposada en Miraflores 75	Sistema	
Lugar	Miraflores, Estelí	PV modules	BP275L
Tipo sistema	Aislado	Nominal Power	0.07 kWp
Simulación	01/01 al 31/12 (Datos climatológicos genéricos)	MPP Voltage	17.1 V
		MPP Current	4.4 A
		Batería:	6Y9 - Starting
		Tensión batería	12 V
		Capacidad total	104 Ah
Resultados principales			
Producción del Sistema	97 kWh/a.	Prod. normalizada	1.54 kWh/kWp/día
Produc. específico	1294 kWh/kWp/año	Pérdidas generador	3.71 kWh/kWp/día
Factor de rendimiento	0.287	Pérdidas sistema	0.11 kWh/kWp/día

Figura 44: Resultados de consumo sin el multicargador

Parámetros de la simulación			
Proyecto	Ecoposada en Miraflores 75	Sistema	
Lugar	Miraflores, Estelí	PV modules	BP275L
Tipo sistema	Aislado	Nominal Power	0.07 kWp
Simulación	01/01 al 31/12 (Datos climatológicos genéricos)	MPP Voltage	17.1 V
		MPP Current	4.4 A
		Batería:	6Y9 - Starting
		Tensión batería	12 V
		Capacidad total	104 Ah
Resultados principales			
Producción del Sistema	95 kWh/a.	Prod. normalizada	2.74 kWh/kWp/día
Produc. específico	1273 kWh/kWp/año	Pérdidas generador	2.46 kWh/kWp/día
Factor de rendimiento	0.511	Pérdidas sistema	0.16 kWh/kWp/día

Figura 45: Resultados de consumo con el multicargador conectado

En las *figuras 44 y 45* se presentan las diferencias de consumo del sistema comparando el caso en el que sólo posee la carga de las bombillas y el caso en el que se le añade la carga del multicargador. Los parámetros que suponen una referencia clara de los cambios que sufre el sistema son:

- Las pérdidas del generador: las cuales disminuyen al añadir la segunda carga, al aprovechar más la energía.
- Factor de rendimiento: El cual representa el rendimiento energético de la instalación y a su vez es una medida de la eficiencia del generador, la cual aumenta (mejora) al añadir la carga.

El siguiente parámetro que cabe analizar es la probabilidad de cubrir las necesidades del usuario por parte del sistema (SolFrac). En la *figura 46*, se presenta el valor de este parámetro para el sistema sin carga adicional a las bombillas. En este caso, se observa que el parámetro SolFrac, es decir, la relación entre las necesidades energéticas del usuario (E.Load) y la energía aportada por el generador (E.User), se mantiene constante e igual a 1, lo que quiere decir que el sistema satisface siempre la necesidad provocada por las 3 bombillas. Este hecho hace referencia a la conclusión que se obtuvo anteriormente, el sistema está sobredimensionado. Que siempre se satisfaga la demanda no implica que el diseño del sistema esté bien planteado, ya que se estarán dando pérdidas de energía muy considerables.

ECOPOSADA 75W SIN CARGADOR
Utilización de Energía

	EArray	E Load	E User	SolFrac	T LOL	Pr LOL
	kWh	kWh	kWh		Hora	%
Enero	5.830	5.115	5.115	1.000	0	0.00
Febrero	4.870	4.620	4.620	1.000	0	0.00
Marzo	3.355	3.069	3.069	1.000	0	0.00
Abril	3.177	2.970	2.970	1.000	0	0.00
Mayo	3.280	3.069	3.069	1.000	0	0.00
Junio	3.168	2.970	2.970	1.000	0	0.00
Julio	3.278	3.069	3.069	1.000	0	0.00
Agosto	3.281	3.069	3.069	1.000	0	0.00
Septiembre	3.174	2.970	2.970	1.000	0	0.00
Octubre	3.281	3.069	3.069	1.000	0	0.00
Noviembre	3.182	2.970	2.970	1.000	0	0.00
Diciembre	5.314	5.115	5.115	1.000	0	0.00
Año	45.187	42.075	42.075	1.000	0	0.00

EArray - Energía efectiva en la salida del generador
 E Load - Necesidad de energía del usuario (Carga)
 E User - Energía suministrada al usuario
 SolFrac - Fracción solar (EUtilizada/ECarga)
 T LOL - Duración de "Pérdida de carga" (usuario no suministra)
 Pr LOL - Probabilidad de "Pérdida de carga"

Figura 46: Utilización de energía con sólo la carga de las bombillas

En la *figura 47*, se presentan los resultados para el sistema con el multicargador instalado. En este caso se observa que existe la posibilidad de que en los meses de menor luz (que coinciden con los meses de verano en España), la necesidad de las cargas externas no se cubra totalmente, lo cual se refleja en el parámetro SolFrac.

ECOPOSADA 75W CON CARGADOR						
Utilización de Energía						
	EArray	E Load	E User	SolFrac	T LOL	Pr LOL
	kWh	kWh	kWh		Hora	%
Enero	9.072	8.215	8.215	1.000	0	0.0
Febrero	7.791	7.420	7.420	1.000	0	0.0
Marzo	6.527	6.169	6.169	1.000	0	0.0
Abril	6.055	5.970	5.970	1.000	0	0.0
Mayo	5.639	6.169	6.169	1.000	0	0.0
Junio	4.879	5.970	4.267	0.715	219	30.4
Julio	5.260	6.169	5.239	0.849	127	17.0
Agosto	6.070	6.169	5.527	0.896	82	11.0
Septiembre	6.596	5.970	5.678	0.951	39	5.4
Octubre	6.487	6.169	6.169	1.000	0	0.0
Noviembre	6.315	5.970	5.970	1.000	0	0.0
Diciembre	8.709	8.215	8.215	1.000	0	0.0
Año	79.400	78.575	75.007	0.955	467	5.3

EArray - Energía efectiva en la salida del generador
 E Load - Necesidad de energía del usuario (Carga)
 E User - Energía suministrada al usuario
 SolFrac - Fracción solar (E Utilizada/E Carga)
 T LOL - Duración de "Pérdida de carga" (usuario no suministrado)
 Pr LOL - Probabilidad de "Pérdida de carga"

Figura 47: Utilización de energía con bombillas y multicargador

Por último, se lleva a cabo un análisis de la energía aprovechada por el sistema a lo largo del año, en el cual se comprueba que en el primer caso el sistema desaprovecha energía todos los meses debido a su sobredimensionamiento. Por otra parte, cuando se instala la carga adicional a las bombillas, en los meses en los que la energía solar es inferior, se detecta una carencia de recurso que habrá que compensar limitando el uso del multicargador.

5.5.5. Puesta en marcha en las comunidades

Tal y como estaba previsto en el cronograma, se llevan a cabo dos encuentros con los habitantes y turistas habituales procedentes de la ciudad en los que se orienta sobre el uso y el funcionamiento del multicargador.

Las pautas generales que se transmiten durante las reuniones son:

- Características del multicargador: únicamente sirve para cargar dispositivos con cable USB que se alimenten a 5V. Normalmente serán móviles, mp3, radios y determinados tipos de cámaras y tablets.
- En ningún caso deben intentar alimentarse otros dispositivos que requieran mayor voltaje como un ordenador portátil.
- Cuando no se esté haciendo uso del multicargador, el interruptor incorporado debe estar en OFF.
- Cuando se den condiciones climáticas adversas como tormentas y por las noches, es conveniente cubrir el multicargador para evitar que se contamine el circuito interior.
- No está permitido su uso o manipulación por menores de edad.

- En caso de detectar errores en el funcionamiento, debe contactarse con los técnicos responsables, que en este caso serán los encargados del proyecto en la FAREM de Estelí.



Figura 48: Reunión informativa con habitantes y turistas de la comunidad

En ambos encuentros se cuenta con diferentes asistentes a los cuales se les da la oportunidad de expresar su valoración de la iniciativa y cualquier duda que les haya surgido. El *feedback* obtenido en general es satisfactorio, algunas de las opiniones que surgen durante dichos encuentros son las siguientes:

- El prototipo es funcional y respeta el medio ambiente al estar pensado para funcionar con energía solar.
- Se debe apostar siempre por energías renovables, ecológicas y lo menos contaminantes posible.
- Es fácil de reparar.
- Es mucho más económico que comprar un inversor que suele costarles alrededor de 90\$.
- Es frecuente que el inversor dure solo un mes o una semana, ya que reconocen hacer un uso indebido en ocasiones.
- Es una iniciativa muy beneficiosa para los vecinos de la comunidad que no cuentan con inversor o ni siquiera con sistemas fotovoltaicos.
- La ubicación del multicargador en la Eco-Posada es de fácil acceso al encontrarse en una zona muy céntrica de la comunidad.

Por último, se llega a un acuerdo para compensar el gasto del sistema de acumulación del panel de 75W con el cual se cargaría a la Eco-Posada, ya que probablemente necesite más mantenimiento o incluso se necesite el cambio de la batería de forma algo más frecuente. Para compartir este gasto, se decide aplicar una cuota de 5 C\$ (Córdobas) por el uso del multicargador (1C\$=0,031€ por lo que la cuota serían 0,16€).

- Observaciones durante la instalación

Al llevar a cabo la instalación del prototipo en la Eco-Posada se propone, por parte de los habitantes de la posada y la encargada del proyecto, el diseño de algún tipo de estante fijo, separado en compartimentos independientes para situar los dispositivos mientras se están cargando. También surge la propuesta de colocar el sistema de acumulación en una mesa o estante de madera, ya que situado en el suelo puede ser susceptible a diversos daños secundarios.

La propuesta de diseño de la estantería que proponen en primer lugar es la representada en la siguiente figura.

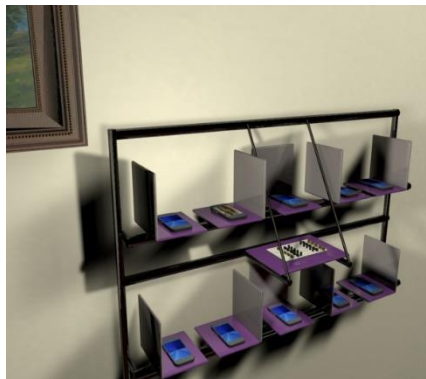


Figura 49: Propuesta de diseño de estantería

Finalmente se adapta la instalación tal y como se ve en la *figura 50*, la cual se puede comparar con la *figura 43* en la que se podía apreciar la situación del sistema de acumulación inicialmente.

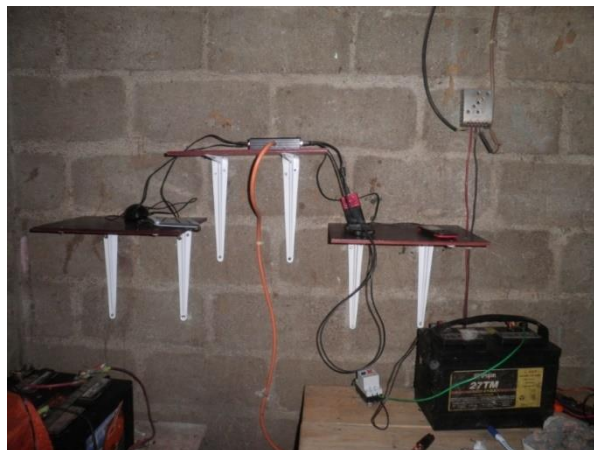


Figura 50: Disposición del sistema tras la colocación de estantes y mesa

5.5.6. Análisis del funcionamiento el prototipo

- Medidas tomadas

Para verificar físicamente que, en las simulaciones, las suposiciones y las pruebas anteriores, se han obtenido resultados válidos. En la Eco-Posada se realizan varias medidas en distintos días con distinto aporte de energía solar.

Prueba #1 con dispositivos existentes en el centro turístico / 9 abril 2016				
Tipo de Dispositivo	Carga			
Dispositivo	Tiempo inicial	Tiempo final	Tiempo carga	Estado de carga
Mp3 SAMSUNG	9:00 AM	12:00 PM	3 horas	100 %
Celular BLU	9:00 AM	11:13 PM	2:13	100%
CELULAR CLARO	9:00 AM	12:30 PM	3:30 horas	100%
CAMARA SAMSUNG	10:20 AM	1:00 PM	3:00 horas	100%
RADIO	9:00 AM	10:00 AM	1 hora	100%
CELULAR SAMSUNG	10 AM	1:00 PM	3 horas	100%

Tabla 7: Medidas de carga tomadas en la comunidad rural el 9/abril/ 2016

En la tabla 7 se representan algunas de las medidas que nos enviaron desde Estelí, las cuales están tomadas en un día con bastante niebla, por lo que el recurso de energía no era especialmente alto. Concretamente en la Eco-Posada miden un promedio de energía solar de 316.7 W/m^2 . Aun así, se obtienen unos tiempos de carga bastante razonables lo cual es signo de que el multicargador funciona correctamente, a pesar de que pueda estar suministrando una corriente algo menor.

En la *tabla 8*, se observan otras medidas algo más completas respecto a los valores de carga. Dichas medidas se realizan un día con mayor recurso solar, con un promedio de radiación al día de 890 W/m^2 .

Prueba #2 / 15 de abril					
Modelo de celular	Estado de carga inicial	Estado de carga final	Hora carga inicial	Hora carga final	Observación
Samsung Note4 ₁	0%	100%	5 :00 pm	8:00 pm	Buen funcionamiento
Samsung Note4 ₂	78%	90 %	5 :00 pm	8:00 pm	Se desconecta antes, pero carga correctamente
Nokia	0%	18 %	5 :00 pm	8:00 pm	Móvil con la entrada de tensión en mal estado, no fluye la corriente correctamente. Se decide desconectarlo.
Claro	32%	100%	5 :00 pm	8:00 pm	Buen funcionamiento
Samsung 3	12 %	100%	5 :00 pm	8:00 pm	Buen funcionamiento

Tabla 8: Medidas de carga tomadas en la comunidad rural el 15/abril/ 2016

Gracias a la toma de estas medidas se confirma el correcto funcionamiento del multicargador. En cuanto a las diferencias entre los tiempos de carga, como se comentó al escoger los tipos de convertidores del prototipo, dependerá de la capacidad de la batería del dispositivo que se está cargando. Cuanta más capacidad tenga la batería del móvil, más tardará este en cargarse completamente. Por otra parte, también influirá el estado de carga de la batería del generador, que limitará la velocidad de carga si aporta menos corriente de la máxima que podría transmitir el multicargador.

- **Errores detectados y solución de los mismos**

- Conexión incorrecta del multicargador

Al recibir uno de los primeros informes de las pruebas en la comunidad, gracias a una de las fotos se detecta que no están conectando el multicargador al regulador de carga, si no a la batería del panel directamente. El regulador se encarga de mantener el voltaje de salida a 12VDC y protege la batería frente al estado de descarga total, el cual puede provocar la destrucción de la misma.



Figura 51: Multicargador conectado a la batería directamente

El problema se soluciona comunicándolo a la responsable del proyecto en Estelí, la cual cambia las conexiones de manera eficaz y comprueba que tanto el sistema de acumulación como el multicargador, por suerte, no han sufrido ningún daño.



Figura 52: Conexión correcta del multicargador al regulador

- Diodo de protección mal dimensionado

Se detecta un error importante cuando el prototipo ya se encuentra en Estelí. El diodo colocado a la entrada de los 12VDC aportados por la batería conectada al panel FV, soportaba tan sólo 1A en directa. Este error se comete previamente en la elección de los componentes del circuito y se puede solucionar de dos maneras: sustituyendo el diodo Schottky conectado por otro que soporte 10A o conectando un diodo antes de la conexión a 12VDC en cada etapa. Si no se corrigiera este problema, al conectar más dispositivos electrónicos se irá aumentando la corriente de entrada progresivamente hasta sobrepasar el límite del diodo provocando un sobrecalentamiento que puede dar lugar a un deterioro severo del cargador. En total, el cargador puede llegar a consumir del orden de 10A, ya que cada convertidor limita la corriente a 1A.

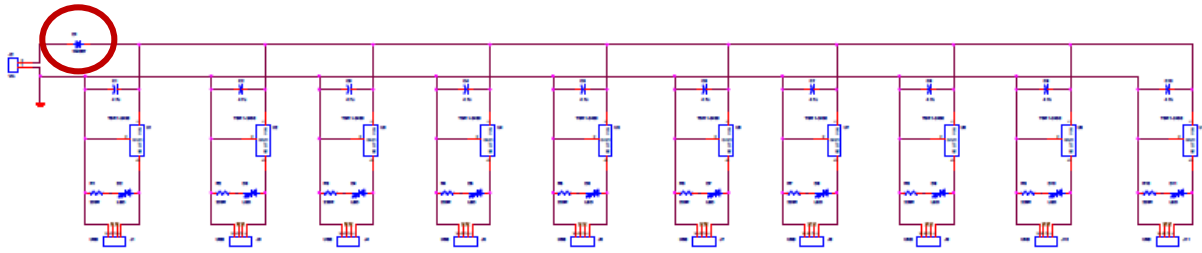


Figura 53: Circuito de 10 etapas (Figura 34) con el diodo que se sustituye señalado

Finalmente, la solución que se toma para resolver el problema en este caso, es la sustitución del diodo del prototipo por otro que soporte 10 A, llevada a cabo por la estudiante de la FAREM de Estelí impulsora de la primera propuesta.

5.6. Desarrollo del prototipo mejorado en Leganés

5.6.1. Propuesta mejorada

Esta última propuesta de solución se plantea posteriormente a la estancia de la receptora del Premio Internacional en la UC3M e implementa las soluciones a las necesidades que se detectaron en la prueba expuesta en el punto 5.2.

Tras investigar acerca de los posibles motivos de la incompatibilidad de Iphone con el multicargador, se llega a la conclusión de que es necesario añadir cuatro resistencias formando dos divisores de tensión en paralelo a la salida de 5VDC para obtener las tensiones de 2,5VDC y 2VDC que se conectarán a los pines de datos de la salida USB. Estos pines están normalmente inactivos durante el proceso de carga, pero el fabricante Apple incluye esta ligera modificación para limitar el uso de otros cargadores no originales [23], [10].

Al proceder a la implementación de esta mejora, surge la necesidad de hacer que las conexiones del cargador sean más comprensibles y la sustitución de componentes sea más sencilla, ya que las conexiones se complican al añadir las cuatro resistencias adicionales. Además, se pretende disminuir los costes del producto y, al mismo tiempo, aportar mayor calidad al mismo.

Para conseguir este propósito se propone construir cada etapa de forma independiente en PCB (*Printed Circuit Board*). Esta tecnología, la cual, en un primer momento, no se pensó que fuera factible para este proyecto basado en las tecnologías apropiadas, hoy en día está completamente normalizada y se puede obtener a un precio muy competitivo. Además, se sustituyen las resistencias, condensadores y diodos por componentes de tipo SMD (*Surface Mount Device*), que permiten aprovechar mejor el espacio y disminuir el tamaño de la placa, son menos susceptibles a errores y su precio es igual o menor que el de los componentes usados anteriormente.

Tal y como se comentó en el apartado 2.1, a pesar de que se aplican los principios de la TA, en este caso no ha sido posible obtener todos los insumos necesarios directamente de comercios nicaragüenses, es por ello que, tras comprobar que el envío a Nicaragua es posible, se decide adquirir varios productos a través de proveedores en Internet.

Para encargar las PCBs se diseña el circuito mediante *OrCad* (*Software disponible en la UC3M*) o *KiCad* (*Software Open Source*). En este caso, se diseñará en primer lugar mediante *OrCad* y se llevará a cabo otro diseño con *KiCad* para que se pueda modificar de forma independiente a esta universidad en caso de que fuera necesario en un futuro.

Para el diseño de la PCB se ha contado con el apoyo de los técnicos de laboratorio del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UC3M, de forma que el diseño se ha realizado de forma normalizada y haciendo uso de una manera eficiente del espacio de la placa PCB, para obtener las placas de un tamaño mínimo para disminuir los costes de producción.

De cualquier manera, se podrán realizar pedidos de la placa tal y como está diseñada en este proyecto mediante el archivo de *OrCad* que se proporcionará desde esta universidad, el cual siempre será válido si no varía ningún componente del circuito.

Finalmente, el circuito queda diseñado tal y como se representa en las *figuras 54 y 56*.

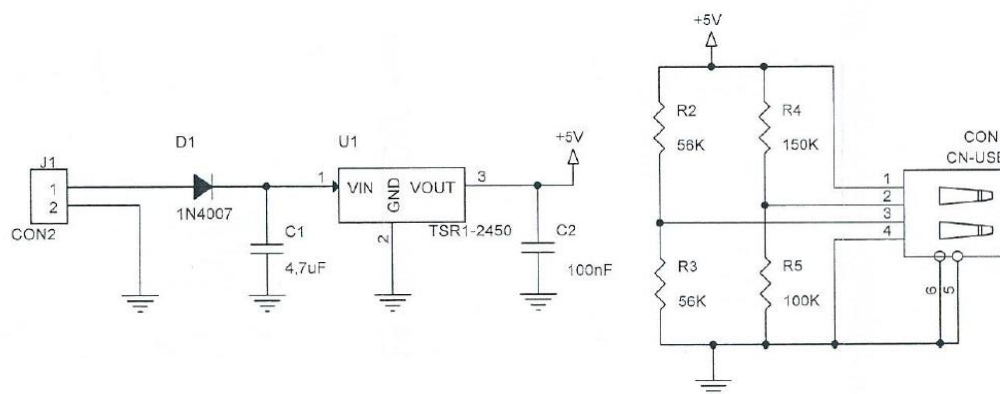


Figura 54: Esquemático de una etapa del multicargador

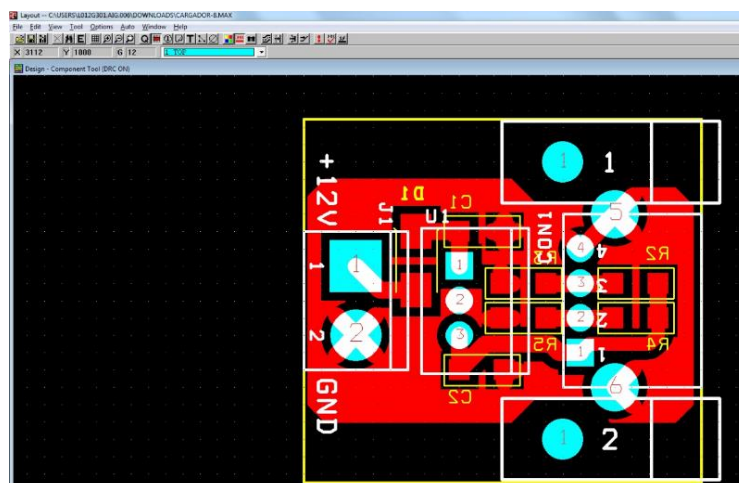


Figura 55: Entorno de diseño OrCad Layout

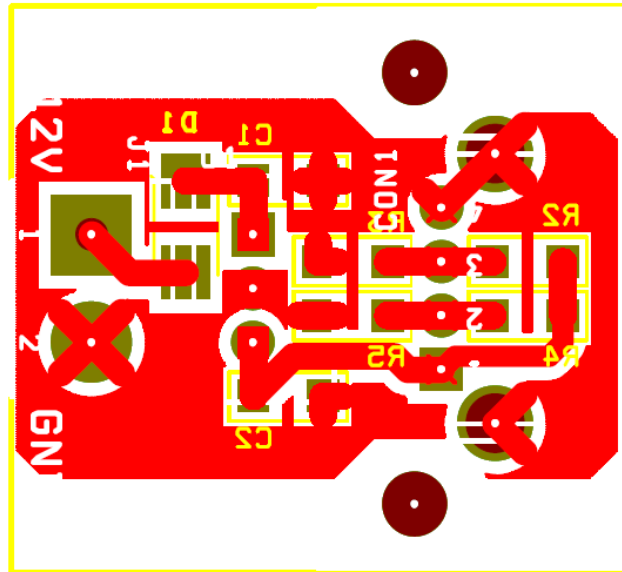


Figura 56: Huella de los componentes y distribución de conexiones en la placa PCB

Como se ha comentado anteriormente, el diseño de las conexiones del circuito tiene en cuenta todas las modificaciones que se han ido aplicando a la propuesta inicial, como la posibilidad de cargar dispositivos Apple o la introducción de un diodo protector en cada una de las etapas.

La página a través de la cual se pueden adquirir las PCB por encargo es *pcbway*, distribuidor del cual se tienen buenas referencias y que ofrece sus servicios a cualquier lugar del mundo.

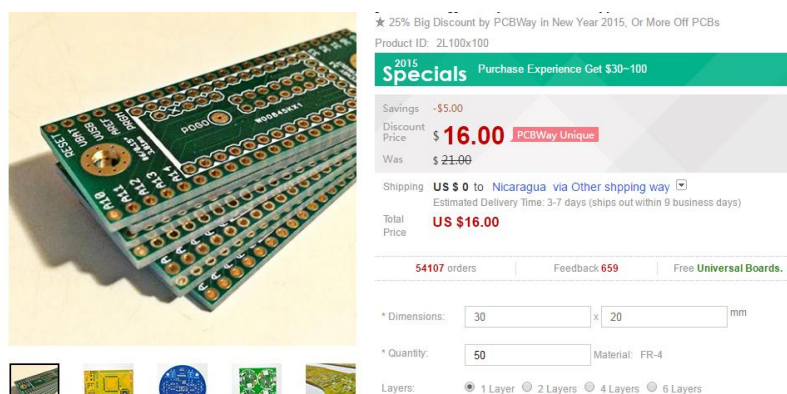


Figura 57: PCB por encargo a través de *pcbway.com* [24]

Descripción del producto	Cantidad	Precio (€)	Subtotal (€)
Convertidor DC/DC: TSR 1-2450	10	4,4	44
Condensador SMD 4,7µF	10	0,136	1,36
Conector hembra USB 2.0	10	0,474	4,74
LED	10	0,08	0,8
Diodo Schottky 1N4007	10	0,162	1,62
Resistencia 150K SMD	10	0,02	0,2
Resistencia 100K SMD	10	0,02	0,2
Resistencia 56K SMD	20	0,02	0,4
Condensador SMD 100nF	10	0,02	0,2
Carcasa protectora	1	19,42	19,42
Placa PCB	10	0,5	5
TOTAL			77,94

Tabla 9: Costes estimados de la propuesta mejorada

Por último, en la *tabla 9*, se especifican los costes aproximados de esta propuesta, los cuales, si se comparan con la propuesta que se llevó a Nicaragua, se han reducido 3€. A primera vista no es mucho el beneficio obtenido al realizar el cambio, pero a largo plazo serán mucho más baratas las reparaciones, ya que el otro prototipo será más complicado de reparar, como se mencionaba antes. Además, este prototipo ya lleva solucionados todos los errores detectados durante el proceso.

5.6.2. Elaboración del prototipo final mejorado

Una vez realizado el diseño expuesto en el apartado anterior, para la construcción del prototipo tan sólo es necesario encargar las placas con las características especificadas anteriormente. De esta forma, obtendremos los 10 módulos PCB independientes, los cuales se deben acoplar a una caja similar a la que se utilizó en el prototipo instalado en Nicaragua. Tras el proceso de soldadura de los componentes el diseño queda implementado como se aprecia en la siguiente imagen:

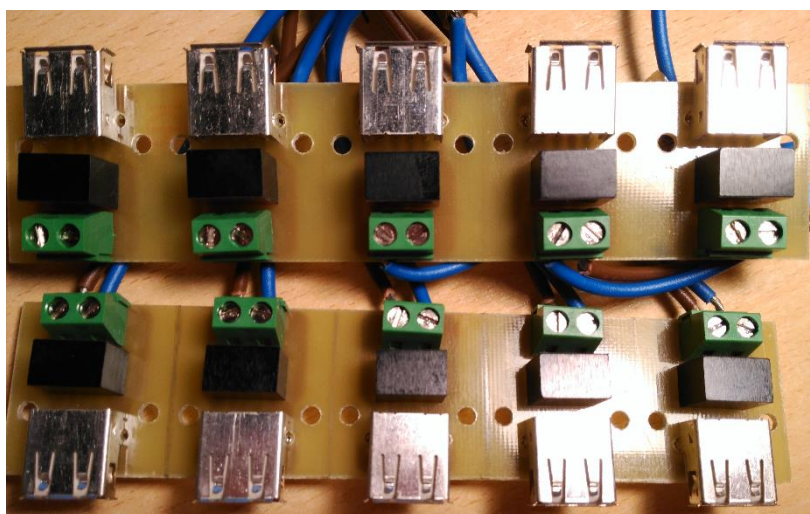


Figura 58: Prototipo mejorado, vista superior

Cabe destacar, que la gran ventaja de esta implementación frente al prototipo que se llevó a Nicaragua, es la facilidad para su reparación. Simplemente habrá que sacar de la carcasa contenedora el módulo averiado y sustituirlo por otro nuevo, desatornillando y atornillando las partes que correspondan, que serán las uniones del módulo a la caja y las clemas que contienen los cables de tensión a tierra y a -12VDC.

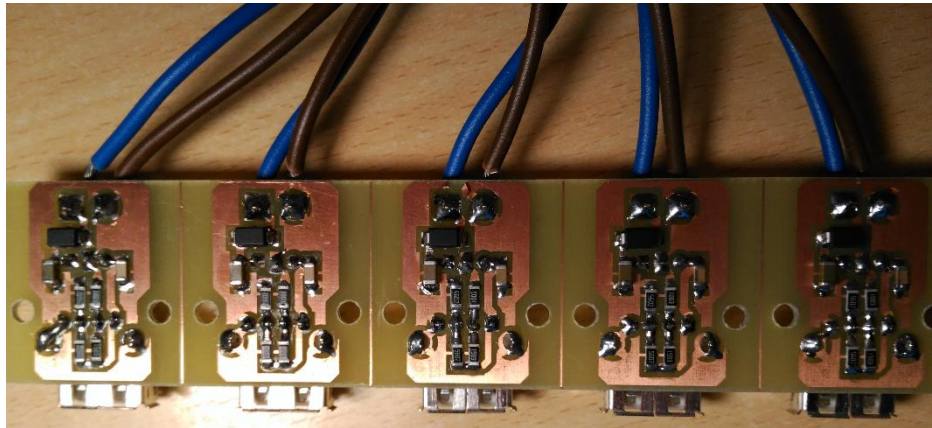


Figura 59: Prototipo mejorado, vista inferior del circuito

Por otra parte, la elaboración del circuito también será mucho más rápida y sencilla ya que disminuye en gran medida el número de soldaduras que hay que realizar. Tan sólo se necesita un soldador de punta fina, para soldaduras precisas, el cual poseen en el laboratorio de la FAREM de Estelí y unas pinzas para poder sujetar con firmeza los componentes SMD.

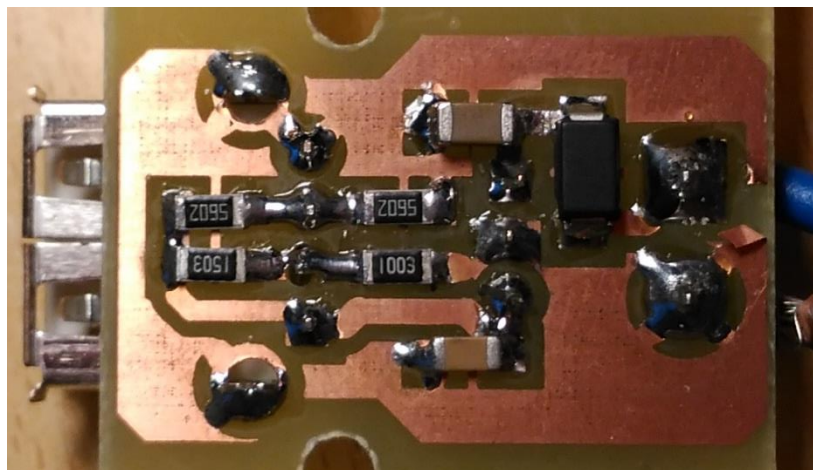


Figura 60: Vista individual ampliada del circuito de una de las 10 etapas

5.6.3. Instalaciones eléctricas y equipos en el laboratorio

Para realizar las pruebas de funcionamiento y la toma de medidas de los prototipos en el laboratorio de Tecnologías Apropriadas, se contó con un sistema fotovoltaico integrado por tres paneles de 150Wp, un regulador y una batería, de los cuales se presenta una breve descripción de sus características a continuación. Además, para la toma de medidas se tiene acceso a un sistema de captura de puntos de energía que nos muestra los valores de corriente y tensión que toma la batería según el momento de la captura. Con este sistema presente en el laboratorio también se llevaron a cabo las pruebas explicadas en el apartado 5.4.



Figura 61: Generador FV de 450Wp situado en la azotea del edificio 1, sobre el laboratorio [imagen tomada desde la UC3M]

CARACTERÍSTICAS	12 V	24 V
FÍSICAS		
Dimensiones	1224 x 1047 x 39,5 mm	
Peso	17 kg	
Número de células en serie	36	72
Número de células en paralelo	2	1
TONC (800 W/m ² , 20 °C, AM 1.5, 1m/s)	47 °C	
ELECTRICAS (1000 W/m², 25 °C célula, AM 1.5)		
Tensión nominal (V _n)	12 V	24 V
Potencia máxima (P _{max})	150 W _p ± 5 %	
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	8,9 A	4,45 A
Tensión de circuito abierto (V _{oc})	21,6 V	43,2 V
Corriente de máxima potencia (I _{max})	8,7 A	4,35 A
Tensión de máxima potencia (V _{max})	17,3 V	34,6 V
CONSTRUCTIVAS		
Células	Si monocristalino, texturadas y con capa antirreflexiva	
Contactos	Contactos redundantes, múltiples, en cada célula	
Laminado	EVA (etilen-vinil acetato)	
Cara frontal	Vidrio templado de alta transmisividad	
Cara posterior	Protegida con Tedlar de varias capas	
Marco	Aluminio anodizado	
Cajas de conexión	IP 65 con diodos de bypass	
Toma de tierra	Si	
Certificaciones	IEC 61215 y Clase II mediante certificado TÜV (En trámite)	
Sección de cable	4-10 mm ²	
Terminal de conexión	Bornera atornillable con posibilidad de soldadura/ Multicontacto opcional	

Figura 62: Características de los módulos FV del laboratorio [Atersa]

Gracias a los datos aportados en la *figura 62* observamos que el panel cumple con los requisitos necesarios para realizar las pruebas, dado que el multicargador puede llegar a consumir como máximo 50W ($1A \cdot 10\text{etapas} \cdot 5V$), de hecho, el sistema estaría sobredimensionado si tan sólo se dedicara a alimentar el multicargador.

Por otra parte, tal y como ocurre en el sistema fotovoltaico que posee la Eco-Posada, se dota a la instalación de un regulador con el fin de estabilizar la tensión y proporcionar un voltaje constante. De este modo, se prolonga la vida útil de la batería protegiéndola frente a sobrecargas y sobredescargas, al igual que se comentaba en el apartado 5.5. En concreto, el regulador con el que contamos en el laboratorio pertenece a la línea VMS y es el que aparece en la *figura 63*.



Figura 63: Regulador VMS 40A [25]

CARACTERÍSTICAS	VMS 40 A	VMS 30 A		
Físicas				
Largo		165mm.		
Ancho		105mm.		
Alto		56mm.		
Peso		1Kg		
Constructivas				
Base	Perfil de aluminio			
Tapa	Chapa de acero galvanizado			
Pintura	Epoxi al horno			
Grado de estanqueidad	IP32			
Tropicalización de los circuitos	Si			
Eléctricas				
Tensión nominal	Bitensión 12 - 24 V	Bitensión 24 - 48 V		
Intensidad máxima de carga	40 A	30 A		
Intensidad máxima de consumo	30 A	20 A		
Sobrecarga admisible	25 %			
Autoconsumo	< 20 mA			
Capacidad de la borna de alimentación	76 A			
Capacidad de la borna del relé	2 A			
Rango de alimentación	10 - 36 V	20 - 72 V		
Compensación de temperatura en carga / descarga	2 mV x V x °C			
Rango de temperatura ambiente	-10 a 50°C a carga nominal			
Tipo de regulación	Serie, controlado por microprocesador, Fets			
Modelos de batería (seleccionables)	Tubular abierta , tubular gel , hoppecke			
Modo de regulación	Flotación, carga profunda, ecualización			
Alarmas				
Baja y alta tensión en batería, cortocircuito, sobrecarga	Led, acústica y pantalla			
Protecciones				
Protección contra polaridad inversa en batería	Si, alarma acústica			
Protección contra sobrecarga	Si, en paneles y consumo			
Protección contra cortocircuito	Si, en consumo			
Protección contra baja / alta tensión en batería	Si			
Rearme desconexión corto-sobrecarga	Si, manual			
Rearme desconexión baja / alta tensión en batería	Si, automático			
Diodo anti-retorno en la línea de paneles	Si			
Accesorios				
Relé de arranque / paro (2 hilos) max. 2 Amp	Si por batería baja programable			
Fusibles				
Fusible aconsejable (no suministrado)	Entrada	Salida	Entrada	Salida
	50 A	30 A	40 A	20 A

Figura 64: Características del regulador del laboratorio [25]

En la *figura 64* aparecen las características del regulador, las cuales no son determinantes para nuestras pruebas, pero nos sirven de referencia para saber que el equipo es el adecuado para nuestro propósito.

Por último, para las pruebas se ha utilizado una batería Monoblock Solar EW C-100 de 160Ah de capacidad y 12V, medidas las cuales estarían sobredimensionadas para el consumo de nuestro prototipo únicamente pero que serán válidas para realizar las pruebas.

5.6.4. Análisis del funcionamiento del prototipo

- Medidas de eficiencia y tiempos de carga

Para comprobar que el prototipo esta vez funciona correctamente con dispositivos iPhone, se lleva a cabo el análisis de porcentaje de carga frente a tiempo transcurrido utilizando un iPhone 4 modelo A1332 con una batería de 1420mAh.

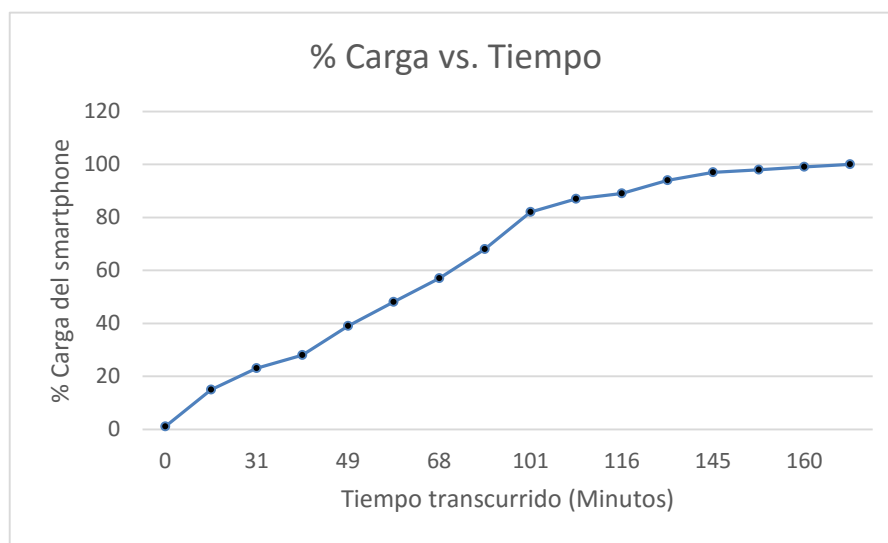


Figura 65: Tiempo transcurrido frente al porcentaje de carga: iPhone 4

En la *figura 65* observamos que el proceso de carga se produce sin cambios bruscos perceptibles y con normalidad, acaba a los 161 minutos, es decir en 2,68h lo cual es parecido, aunque algo mayor, a lo esperado teóricamente:

$$t = \frac{\text{Capacidad batería}}{\text{Corriente suministrada}} = \frac{1,42 \text{ Ah}}{0,55 \text{ A}} = 2,58 \text{ h}$$

Por último, se calcula el rendimiento utilizando la media de las 17 muestras tomadas, en las cuales ha basado el gráfico de la *figura 65*.

$$n_{\text{multicargador2}} = \frac{0,55A \cdot 4,4V}{0,184A \cdot 13,92V} = \frac{2,42W}{2,56W} = 0,94$$

Al comparar con el rendimiento obtenido en el prototipo de multicargador llevado a Nicaragua, comprobamos que la eficiencia de este nuevo diseño es ligeramente mejor, en el entorno del 2%. Esto puede ser debido a la disminución de pérdidas por la ausencia de cableado en las conexiones llevadas a cabo con componentes SMD o integradas en la placa PCB.

- Errores detectados a solucionar

Durante las pruebas realizadas no se apreciaron errores consistentes para cambiar el diseño.

6. Costes de desarrollo

A continuación, se presentan los costes estimados del desarrollo de los prototipos, que, aunque en este caso serán gratuitos para la FAREM, sería lo que podría costar desarrollar el producto, es decir, formaría parte de la inversión inicial.

Costes de personal durante el desarrollo

Integrante	Puesto	Dedicación (horas)	Coste Unitario (€/h)	Coste (€)
Mónica Chinchilla Sánchez	Ing. Senior	60	30	1800
Carolina Calvo Pérez	Ing. Junior	280	18	5040
Thelma Mayorga Salguera	Ing. Junior	100	18	1800
SubTotal				8640 €

Tabla 10: Coste de personal durante el desarrollo

Costes de informática y software durante el desarrollo

	Coste total (€)	% uso	Tiempo de uso (meses)	Período depreciación (meses)	Coste directo (€)
Licencia Microsoft Office 2016 (Estudiantes)	0	60	5	12	0
Licencia OrCad 15.7	2.000	20	1	12	34
Licencia PVSyst	1.165	10	0,5	12	5
SubTotal					39 €

Tabla 11: Costes de informática y de software durante el desarrollo

El coste directo se calcula como:

(10)

$$\text{Coste directo} = \frac{A_1}{A_2} \cdot A_3 \cdot A_4$$

Donde:

- A_1 : Coste total
- A_2 : Periodo de depreciación en meses
- A_3 : %uso
- A_4 : Tiempo de uso en meses

Coste de instalaciones y equipos durante el desarrollo

	Coste total (€)	% uso	Tiempo de uso(meses)	Período depreciación (meses)	Coste directo (€)
<i>Estación de soldadura completa</i>	1000	60	3	48	38
<i>3 Paneles FV Atersa</i>	720	30	2	48	9
<i>Regulador VMS 40A</i>	169	30	2	48	2
<i>Batería Monoblock Solar EW C-100 de 160Ah</i>	193	30	2	36	3
				SubTotal	52 €

Tabla 12: Coste de instalaciones y equipos durante el desarrollo

Coste de materiales de los dos prototipos desarrollados

Descripción del producto	Cantidad	Precio (€)	Subtotal (€)
Convertidor DC/DC: TSR 1-2450	20	4,4	88
Condensador 4,7µF	20	0,136	2,72
Conector hembra USB 2.0	20	0,474	9,48
LED	10	0,08	0,8
Diodo Schottky 1N4007	20	0,162	3,24
Resistencia 220 Ω	10	0,121	1,21
Placa con pistas	1	7,5	7,5
Placa PCB (20x30mm)	10	0,5	5
Carcasa protectora	2	19,42	38,84
Bobina estaño	1*0,5	7,77	3,9
Resistencia 150k SMD	10	0,02	0,2
Resistencia 100k SMD	10	0,02	0,2
Resistencia 56k SMD	20	0,02	0,4
Condensador 4,7µF SMD	10	0,02	0,2
Condensador 4,7µF SMD	10	0,02	0,2
SubTotal			162 €

Tabla 13: Coste de materiales

	SubTotal (€)
Coste de personal	8640
Coste de informática y software	39
Coste de instalaciones y equipos	52
Materiales	162
Total	8893€

Tabla 14: Coste Total

7. Otras aplicaciones del prototipo

Además de ser de gran utilidad para su uso en comunidades rurales nicaragüenses, debido a su simplicidad y su bajo coste, el prototipo que se ha presentado a lo largo del trabajo sería adecuado para más lugares y aplicaciones.

Por ejemplo, sería muy útil instalarlo en paradas de transporte público aisladas y en lugares rurales de cualquier zona del mundo. Este tipo de iniciativas ya son una realidad y pueden verse implantadas en diversas zonas, no obstante, el prototipo que aquí se ha presentado posee la ventaja de ser muy sencillo de instalar, ya que tan sólo es necesario conectarlo a una toma de 12VDC, muy común en baterías de instalaciones solares.

8. Propuestas adicionales

Desde Nicaragua, tras realizar diversas pruebas en la comunidad de Mirafior con el multicargador, se sugirió la conveniencia de añadir salidas extra para poder cargar PCs portátiles. A continuación, se avanzan algunas consideraciones hechas en el diseño previo de un cargador solar para PC portátil.

Al plantear el diseño del cargador surgen diversos puntos que se deben tener en cuenta:

- Cada PC portátil necesita una potencia mínima distinta para poder realizar la carga. Esto supone construir un cargador con la máxima potencia que exigen los PC más comunes. Para decidir esta potencia se evalúan las características de carga de 3 PC diferentes:

1. PC Lenovo/IBM: 20V – 4,5A – 90W
2. PC Packard Bell: 19V – 4,75A – 90W
3. PC HP: 19,5V – 3,55A – 65W

Dado este pequeño análisis, se decide que las características que idealmente debería tener el cargador serían 19V – 4,75A – 90W, para que sea compatible con el mayor tipo posible de modelos de PC, ya que los modelos de menor potencia deberían poder cargarse al conectarse a mayores potencias.

- Al diseñar un convertidor elevador de voltaje, normalmente es complicado conseguir valores altos de salida de corriente con una tensión elevada. Para ello, se valoran distintas opciones de circuitos y componentes (véanse las *figuras 66, 67*), las cuales se obtienen a través de la herramienta online WEBENCH, ofrecida por Texas Instruments. En este primer análisis, el componente que se presentaría como la mejor opción es el TPS55330.

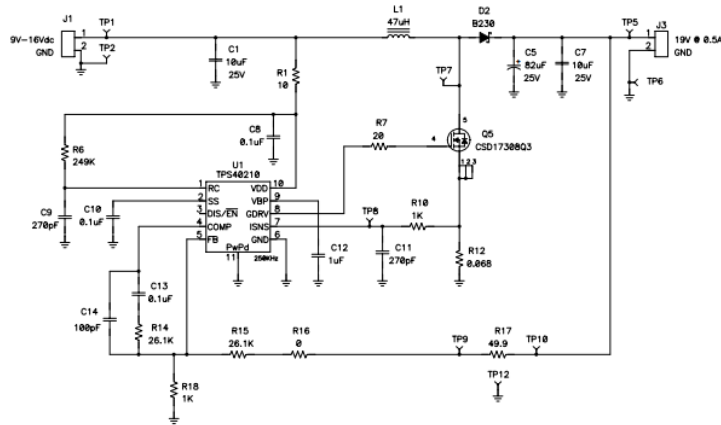


Figura 66: Propuesta de circuito elevador. $V_{in}=12V$, $V_{out}=19V$, $I_{out}=0,5A$ [26]

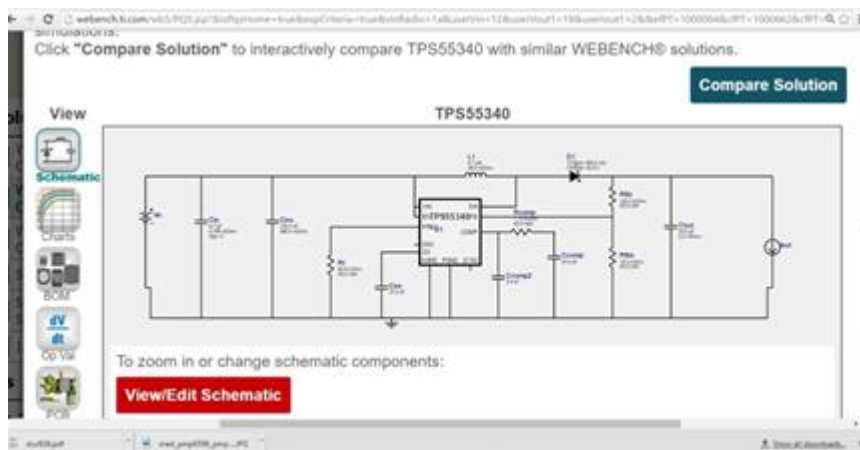


Figura 67: Propuesta circuito elevador $V_{in}=12V$, $V_{out}=20V$ $I_{out}=2,5A$

- Los convertidores elevadores disipan una gran cantidad de calor, por lo que habrá que diseñar el cargador con las protecciones necesarias
- Después de construir el circuito habría que comprobar valores de tensión y corriente y las formas de onda, ya que al no estar integrada la bobina, se podrían acoplar armónicos de alguna frecuencia y si la onda no tiene forma de continua también puede ocasionar problemas al PC portátil.
- Se necesitarían ordenadores para probar el diseño inicial, asumiendo el riesgo de que se deteriore o se disminuya la batería del portátil al conectarlo a un voltaje o una potencia distinta.

Por último, también se lleva a cabo un breve análisis sobre los cargadores de este tipo que se pueden encontrar en el mercado, obteniendo como resultado poca oferta en cuanto a cargadores solares, el más parecido a lo que se busca sería el que se presenta en la *figura 68*. En cuanto a cargadores de coche, que también se conectan a 12VDC como los que aporta una batería de un panel FV, los modelos que se encuentran suelen ser específicos para un tipo de PC, pero no son compatibles con otros modelos.

Por otro lado, se encuentra a la venta un convertidor ya implementado que sería lo que más se adaptaría a las especificaciones (véase la *figura 69*).



Figura 68: Cargador SolarGorilla con Panel FV incorporado. Apto para PC Portátil de hasta 40W [27]



Figura 69: Convertidor elevador $V_{out}=19V$, $I_{out}=5A$ [ebay]

9. Conclusiones

9.1. Resultados obtenidos

Basándonos en los objetivos específicos planteados en el apartado 5.1., se puede decir que el proyecto ha concluido con resultados satisfactorios, ya que se han alcanzado los objetivos planteados. A día de hoy, en la comunidad escogida en Mirafior, se puede usar el multicargador con normalidad, se han explicado los principios de uso a los usuarios habituales y se ha mejorado su calidad de vida permitiéndoles una forma fácil de mantenerse comunicados mediante sus teléfonos móviles.

No obstante, a pesar de haberse logrado alcanzar los objetivos a corto plazo, el proyecto debe continuar en marcha hasta que, como mínimo, consigan fabricar e instalar un prototipo por su cuenta contando sólo con los recursos que consigan en la FAREM de Estelí.

9.2. Pasos a seguir en el futuro

A pesar de que el proyecto que se ha desarrollado en el presente documento se ha centrado en su implementación en las comunidades rurales de Mirafior, con las pautas a seguir que se han determinado, es posible producir e instalar en cualquier comunidad aislada de la red el multicargador que se ha presentado, siempre que se posea un panel solar FV de al menos 25-30Wp.

Al realizar el prototipo, se ha hecho evidente la necesidad de desarrollar convertidores elevadores DC-DC más eficientes y a mejor precio. La etapa de electrónica de potencia es esencial de cara al desarrollo de dispositivos adaptados a energías renovables y, por tanto, será un campo idóneo en el que invertir.

9.3. Opinión personal

Gracias a este proyecto, he adquirido una visión mucho más amplia de las oportunidades que nos brinda la formación de Ingeniería Industrial. Por un lado, he podido desarrollar un prototipo prácticamente desde cero, con el reto que ello conlleva, lo cual me ha ayudado a ganar independencia y me ha demostrado que se pueden llevar a cabo muchos proyectos con toda la información y los medios que tenemos a nuestro alcance en la universidad, los cuales en determinadas ocasiones no aprovechamos completamente.

Por otro lado, este proyecto ha sido especialmente gratificante ya que he podido conocer de primera mano la problemática que se quería solucionar a través de la estudiante de Estelí con la que he estado trabajando durante todo el proyecto. Además, posteriormente he podido seguir el proceso de implantación del prototipo desarrollado en la UC3M en Estelí gracias a la comunicación con la estudiante de la FAREM.

Por último, ha sido una experiencia muy enriquecedora ya que he trabajado al mismo tiempo con personal de la universidad (como técnicos de laboratorio y profesores) y con personal de la FAREM, por lo que he podido desarrollar mis habilidades sociales y a su vez, he obtenido más experiencia para coordinarme con distintas personas en diferentes situaciones.

10. Bibliografía

- [1] D. López Olivares, "El modelo turístico de carácter sistémico e integrado como facilitador del desarrollo en los países centroamericanos: el caso de Nicaragua (Estelí-Nueva Segovia)," *Documents d'anàlisi geogràfica*, no. 47, pp. 69-92, 2006.
- [2] D. López Olivares, E. M. Obiol Menero, "El turismo en Nicaragua: un análisis territorial contemporáneo," *Revista cuatrimestral de geografía*, no. 67, pp. 209-218, 2005.
- [3] T. K. Mayorga Salguera, "Cargador Solar para Dispositivos de Bajo Voltaje en Comunidades Rurales de Nicaragua," FAREM (Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí), Estelí, Premio Internacional de Tecnologías Apropriadas de la Universidad Carlos III de Madrid 2015.
- [4] ENATREL (Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica). (2016, Febrero) En Estelí y Matagalpa ya no hay noches oscuras. Youtube. [Online].
<https://www.youtube.com/watch?v=0swOdGva1VQ>
- [5] Procuraduría General de la República. (2008, Noviembre) EVALUACIÓN SOCIO – ECONÓMICA DEL ÁREA PROTEGIDA MIRAFLORES – MOROPOTENTE, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ. [Online].
http://www.pgr.gob.ni/PDF/2008/PRODEP/informe_final_de_rea_protegida_miraflores-moropotente.pdf
- [6] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, *Informe de Desarrollo Humano del PNUD 2001: "Poner el adelanto tecnológico al servicio del desarrollo humano*. Nueva York: Mundi-Prensa, 2001.
- [7] Wikipedia: Tecnología Adecuada. [Online].
https://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADa_adecuada
- [8] E. López Herrera, "Nicaragua y las energías limpias," *Revista Científica de FAREM-Estelí*, no. 14, p. 106, Mayo 2016.
- [9] K. Shirriff. (2014) Ken Shirriff's blog. [Online]. <http://www.righto.com/2014/05/a-look-inside-ipad-chargers-pricey.html>
- [10] xz32f. ¿Son iguales todos los cargadores USB? [Online].
<http://xz32f.blogspot.com.es/2016/03/son-todos-los-cargadores-usb-iguales.html>
- [11] E. Landivar. (2014, Julio) Cómo hacer un cargador USB para el auto o un reductor de voltaje DC. [Online]. <http://www.neomano.com/2014/07/como-hacer-un-cargador-usb-para-el-auto-o-un-reductor-de-voltaje-dc/>

- [12] (2016) Cargador Solar. [Online] <http://www.cargador-solar.com/>
- [13] Fenix international. (2016) Products - Fenix international. [Online] <http://www.fenixintl.com/products/>
- [14] D. Perreault. (2007, Primavera) 6.334 Power Electronics. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare. [Online]. <http://ocw.mit.edu>
- [15] A. Barrado, A. Lázaro, M. Sanz, P. Zumel, C. Fernández. (2009, Diciembre) Electrónica de potencia. OpenCourseWareUC3M. [Online]. <http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/electronica-de-potencia>
- [16] RECOM. (2014) R-78E5.0-1.0 Datasheet. [Online]. http://www.mouser.com/ds/2/468/recompower_R-78E5.0-1.0_Preliminary-492237.pdf
- [17] RECOM. (2015) R-785.0-1.0 Datasheet. [Online]. <http://www.mouser.com/ds/2/468/R-78xx-1.0-226049.pdf>
- [18] TRACO POWER. (2016) TSR 1-2450 Datasheet. [Online]. <http://www.mouser.com/ds/2/687/tsr1-537631.pdf>
- [19] Mouser Electronics. (2016) Mouser electronics - electronic components distributor. [Online]. <http://www2.mouser.com/>
- [20] Deal Extreme. Modulo LM2596. [Online]. <http://www.dx.com/s/m%C3%B3dulo+LM2596>
- [21] M. Baeza Amundarain, "Evaluación del suministro de energía eléctrica mediante energías renovables en la comunidad aislada de Mirafior, Nicaragua," UC3M, Madrid, TFG 2016.
- [22] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). (2009, Febrero) Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. [Online]. <http://www.idae.es/>
- [23] Charly Labs. (2013, Noviembre) El truco de los cargadores de apple y Samsung. [Online]. <https://www.charlylabs.cl/charly-labs/el-truco-de-los-cargadores-de-apple-y-samsung/>
- [24] PCBWay. 2 Layers PCB Prototype. [Online]. http://www.pcbway.com/pcb_prototype/?adwgc=101&gclid=CMWnp-PtM0CFUwq0wod3sMNgg
- [25] Imesol - Equipamiento fotovoltaico. Manuales e Información. [Online]. www.imesol.es
- [26] Texas Instruments. (2012) PMP6596 Schematic. [Online]. <http://www.ti.com/lit/df/slur836/slur836.pdf>
- [27] PowerTraveller. SOLARGORILLA. [Online]. www.powertraveller.com