



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

**TITULACIÓN DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**Diseño e implementación de un módulo híbrido fotovoltaico - piezoeléctrico  
para provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet.**

**TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN**

**AUTORES:** Delgado Galindo, Luis Eduardo.  
Sinche Cueva, Luis Darío.

**DIRECTOR:** Jaramillo Pacheco, Jorge Luis, Ing.

**LOJA – ECUADOR**

**2014**

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN**

Ingeniero.

Jorge Luis Jaramillo Pacheco

DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

De mi consideración:

Que el presente trabajo, denominado: "Diseño e implementación de un módulo híbrido fotovoltaico - piezoeléctrico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet", realizado por los profesionales en formación: Luis Eduardo Delgado Galindo y Luis Darío Sinche Cueva; cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, Febrero de 2014

f) .....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Nosotros, Delgado Galindo Luis Eduardo y Sinche Cueva Luis Darío, declaramos ser los autores del presente trabajo de fin de titulación: Diseño e implementación de un módulo híbrido fotovoltaico - piezoeléctrico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet, de la Titulación de Electrónica y Telecomunicaciones, siendo Jaramillo Pacheco Jorge Luis, Ing. director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

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

f.....  
Autor: Delgado Galindo, Luis Eduardo  
Cédula: 1900447200

f.....  
Autor: Sinche Cueva, Luis Darío  
Cédula: 1104499270

## DEDICATORIA

A mis padres, Elena y Jhovanny, que han sido el pilar fundamental dentro de mi formación académica, ejemplo de esfuerzo y superación, porque con su apoyo he podido salir adelante en los momentos más difíciles; a mis hermanos, Julia Jhoana, Juan Diego y José David, sin ellos nada hubiera sido posible, este logro es dedicado especialmente a todos ustedes. De manera muy especial le agradezco a mi Familia, Abuelitos, que estoy seguro que desde allá arriba me estarán dando su bendición, tíos, primos y sobrino que de una u otra manera me han extendido su mano cuando más lo he necesitado. Gracias a todos por ser parte de este logro alcanzado.

Luis Eduardo

Este trabajo se lo dedico a Dios por todas sus bendiciones. A mis padres, Luis y Reinita, los pilares en mi formación personal y profesional; a quienes debo más que mi vida, por su apoyo incondicional, por siempre impulsarme a la superación, por su total entrega de amor. A mis hermanos, Matilde y Cristian, por estar a mi lado y demostrarme que cuando la vida más duro te puede golpear, más fuerte te debes levantar. A mis sobrinos, Nicolás y Matías, que han sido la razón más bonita por la cual puedo ser feliz todos los días. A mis amigos y amigas, que me han entregado su tiempo, confianza y ayuda para cumplir esta meta. Gracias de corazón a todos.

Luis Darío

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a todas las personas que de una u otra manera han aportado para que el desarrollo de este proyecto se lleve a cabo. A la Universidad Técnica Particular de Loja, la cual ha sido nuestro segundo hogar y nos ha sabido acoger de la mejor manera.

Nuestro sincero agradecimiento a todos los docentes de la titulación de Electrónica y Telecomunicaciones y en especial al Ing. Jorge Luis Jaramillo, quien muy acertadamente dirigió nuestra tesis, compartiendo sus valiosos conocimientos y consejos para llevar a un feliz término nuestra carrera universitaria.

Luis Eduardo y Luis Darío

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABLAS .....	ix
RESUMEN EJECUTIVO .....	1
ABSTRACT .....	2
OBJETIVOS .....	4
CAPÍTULO 1 .....	5
1. PREDISEÑO DE UN MÓDULO HÍBRIDO FOTOVOLTAICO – PIEZOELÉCTRICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA A UN SISTEMA PORTABLE DE ACCESO A INTERNET, A UBICAR EN ZONAS DE BAJA COBERTURA EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL .....	5
1.1. Introducción .....	6
1.2. Valoración de la potencia de aporte energético de baldosas piezoeléctricas .....	6
1.3. Prediseño del módulo de provisión de energía .....	9
1.3.1 Bloque de harvesting .....	9
1.3.2 Bloque de storage .....	11
1.3.3 Bloque de interface .....	11
CAPÍTULO 2 .....	13
2. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS DEL MÓDULO HÍBRIDO FOTOVOLTAICO – PIEZOELÉCTRICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA A UN SISTEMA PORTABLE DE ACCESO A INTERNET, A UBICAR EN ZONAS DE BAJA COBERTURA EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL .....	13
2.1 Introducción .....	14
2.2. Definición de requerimientos de la carga del sistema .....	14
2.2.1 Selección de equipos activos .....	14
2.2.2 Dimensionamiento de la carga total requerida .....	16
2.2.3 Dimensionamiento del bloque de baldosas piezoeléctricas .....	18
2.2.4 Dimensionamiento del bloque fotovoltaico .....	20
2.2.5 Dimensionamiento del bloque de storage de energía .....	23

2.2.6 Dimensionamiento del regulador de carga del storage, desde el bloque fotovoltaico

25

CAPÍTULO 3.....	26
3. INGENIERÍA DE DETALLE Y FABRICACIÓN DE UN MÓDULO HÍBRIDO FOTOVOLTAICO – PIEZOELÉCTRICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA A UN SISTEMA PORTABLE DE ACCESO A INTERNET A UBICAR EN ZONAS DE BAJA COBERTURA EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL .....	26
3.1 Introducción .....	27
3.2 Ingeniería de detalle del modulo .....	27
3.2.1. Selección final de los componentes .....	27
3.2.2 Arquitectura, diagrama de bloques y esquema eléctrico del módulo.....	32
3.2.3 Esquema mecánico.....	34
3.3. Implementación del módulo.....	34
CAPITULO 4.....	39
4. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN MÓDULO HÍBRIDO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA A UN SISTEMA PORTABLE DE ACCESO A INTERNET, A UBICAR EN ZONAS DE BAJA COBERTURA DE INTERNET EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL .....	39
4.1 Introducción .....	40
4.2 Descripción general del sistema implementado .....	40
4.3 Prueba de desempeño del módulo implementado.....	42
4.3.1 Carga/consumo de energía en el módulo.....	42
4.3.1.1 Carga del módulo desde las láminas solares .....	42
4.3.1.2 Carga del módulo desde las baldosas piezoeléctricas.....	43
4.3.1.3 Carga del módulo desde la red pública.....	44
4.3.1.4 Demanda de potencia del repetidor.....	44
4.4 Cobertura de acceso a Internet.....	44
CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXO 1 .....	51
PAPER: Diseño y fabricación de un módulo híbrido fotovoltaico – piezoeléctrico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a internet, a ubicar en zonas de baja cobertura en el campus San Cayetano de la UTPL.....	51

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Característica de trabajo del arreglo de baldosas piezoeléctricas conectadas en serie. ....	7
Figura 1.2 Característica de trabajo del arreglo de baldosas piezoeléctricas conectadas en paralelo. ....	8
Figura 1.3 Estructura del módulo de provisión de energía. ....	9
Figura 2.1 Vista panorámica de un equipo activo tipo NanoStationM5 .....	15
Figura 3.1 Función de un repetidor receptando señal débil de un AP. ....	27
Figura 3.2. Arquitectura del módulo. ....	32
Figura 3.3 Diagrama del módulo. ....	33
Figura 3.4 Arquitectura general de las conexiones del módulo híbrido fotovoltaico y piezoeléctrico. ....	33
Figura 3.5 Vista en 3D del módulo a implementar. ....	34
Figura 3.6 Vista frontal y posterior de la carcasa a reutilizar. ....	34
Figura 3.7 Ubicación de controladores de carga y del cosechador en el cuerpo del equipo reutilizado. ....	35
Figura 3.8 Ubicación de las protecciones en el exterior del cuerpo. ....	35
Figura 3.9 Ubicación de las bahías en el exterior del cuerpo. ....	36
Figura 3.10 Ubicación de la batería y del inversor en la base del cuerpo. ....	36
Figura 3.11 Ubicación de la interface del inversor en el cuerpo. ....	37
Figura 3.12 Sujeción del AP al módulo. ....	37
Figura 3.13 Módulo de provisión de energía con todos sus componentes acoplados. ....	38
Figura 4.1 Bahías para la conexión del módulo a láminas solares y baldosas piezoeléctricas. ..	41
Figura 4.2 Selección de la fuente de alimentación al módulo. ....	41
Figura 4.3 Fusibles de protección a los equipos. ....	41
Figura 4.4 Bahías de salida del módulo. ....	42
Figura 4.5 Prueba de carga del módulo desde una lámina solar. ....	43
Figura 4.6 Prueba de carga del módulo desde una baldosa piezoeléctrica. ....	44
Figura 4.7 Mapa de color de la cobertura de la red MODULO MOVIL. ....	46

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Especificaciones técnicas de la lámina solar PowerFilm R-28.....	10
Tabla 1.2 Especificaciones de la baldosa PowerLeap .....	10
Tabla 1.3 Características del acondicionador EH300 A.....	11
Tabla 2.1 Características eléctricas, físicas, y, ambientales de equipos activos Ubiquiti.....	15
Tabla 2.2 Características eléctricas, físicas y ambientales de los equipos activos considerados para broadcast de la señal de Internet.....	16
Tabla 2.3 Información para el dimensionamiento de la carga total requerida en los equipos activos. ....	16
Tabla 3.1 Características técnicas del AP Tp-link Repetidor TI-wa901nd. ....	28
Tabla 3.2 Características técnicas de batería 6FM18-X AGM.....	29
Tabla 3.3 Características técnicas del controlador de carga J2 LED lighting.....	30
Tabla 3.4 Características técnicas de la lámina PowerFilm 28 W Rollable Solar. [5] .....	30
Tabla 3.5 Características técnicas del controlador de carga Sunforce de 7A.....	30
Tabla 3.6 Características técnicas del controlador de carga Phocos CML10 .....	31
Tabla 3.7 Características del Inversor Avtec IN-300 .....	31
Tabla 4.1 Características técnicas del módulo diseñado e implementado. ....	40
Tabla 4.2 Correspondencia entre la intensidad de señal y el color en el mapa generado por Ekahau Heatmapper. ....	45

## RESUMEN EJECUTIVO

En el contexto del presente trabajo se describe el diseño e implementación de un módulo híbrido fotovoltaico – piezoeléctrico para abastecimiento de energía a un sistema portable de acceso a internet. Se analizan los resultados obtenidos en pruebas con baldosas piezoeléctricas, a fin de aproximar su aporte potencial al módulo. Se explica los cálculos de ingeniería de detalle. Se especifica el proceso de fabricación e implementación del módulo. Y, se explica la metodología aplicada y los resultados obtenidos, al evaluar el desempeño del módulo implementado.

**PALABRAS CLAVES:** harvesting de energía, energía fotovoltaica, energía piezoeléctrica, sistemas híbridos de provisión de energía.

## **ABSTRACT**

In the context of this present job we describe the design and implementation of a hybrid photovoltaic piezoelectric module to provide energy to a portable system for Internet access. We analyzed the results we gather through testing with piezoelectric tiles, whit the purpose of utilize it's maximum potential for the modulo to work effectively. We explained the engineering calculation in detail. We specified the module's process of fabrication and implementation. And we explained the methodology apply and the results obtain while we test and evaluate the module implemented

**KEYWORDS:** energy harvesting, photovoltaics, piezoelectric energy, hybrid power supply systems.

## INTRODUCCIÓN

En las condiciones actuales, existe una fuerte presión por diversificar la matriz de fuentes de energía empleadas para potenciar las más diversas aplicaciones. En este trabajo, desde la Sección de Energía y Electrónica del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica de la UTPL, se ha planteado evaluar la potencialidad de implementar una solución tecnológica para aprovechar energía renovable, para dotar de Internet a una área de baja cobertura en el Campus San Cayetano de la UTPL.

En el primer capítulo, se analiza el potencial energético que pueden aportar baldosas PowerLeap, se realiza el prediseño del sistema a implementar, y, se definen los lineamientos generales de diseño.

En el segundo, se detalla el dimensionamiento de los equipos a ser utilizados para la fabricación de un módulo híbrido fotovoltaico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet, sobre la base del uso de láminas solares y baldosas piezoeléctricas.

En el tercer capítulo, se muestra la ingeniería de detalle y el proceso de fabricación del módulo.

En el cuarto capítulo, se describe las pruebas aplicadas, y, se analizan los resultados obtenidos al evaluar el desempeño del sistema portable.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

- Diseñar e implementar un módulo híbrido fotovoltaico piezoeléctrico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a internet.

### Objetivos específicos

- Realizar un análisis del aporte potencial que las baldosas PowerLeap pueden ofrecer como parte del diseño del módulo híbrido.
- Diseñar e implementar un módulo híbrido para provisión de energía a un sistema portable de accesos a internet, considerando principalmente fuentes de energía renovable disponibles dentro del campus universitario.
- Evaluar el desempeño del módulo híbrido fotovoltaico-piezoeléctrico dentro de las especificaciones consideradas en el diseño.

## **CAPÍTULO 1**

- 1. PREDISEÑO DE UN MÓDULO HÍBRIDO FOTOVOLTAICO – PIEZOELÉCTRICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA A UN SISTEMA PORTABLE DE ACCESO A INTERNET, A UBICAR EN ZONAS DE BAJA COBERTURA EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL**

## **1.1. Introducción**

En la actualidad, varias son las iniciativas de harvesting de energía que, capturan pequeñas cantidades de las diversas formas de energía existentes a nuestro alrededor. En este contexto, se ha propuesto impulsar una iniciativa que permita evaluar la potencialidad de una solución tecnológica que aproveche la energía renovable, para dotar de Internet a un área de baja cobertura, facilitando la recuperación de espacios en el Campus San Cayetano de la UTPL.

En este documento, se describe los resultados obtenidos en pruebas efectuadas con baldosas piezoeléctricas PowerLeap, con el fin de aproximar su aporte potencial a un módulo de abastecimiento de energía para un sistema portable acceso a internet, y, se explica los lineamientos generales considerados en el prediseño de un módulo híbrido de abastecimiento de energía eléctrica para el sistema planteado. Valoración de la potencia de aporte energético de baldosas piezoeléctricas

## **1.2. Valoración de la potencia de aporte energético de baldosas piezoeléctricas**

El sistema a implementar, se destinará a proveer de acceso a Internet en zonas abiertas diversas del campus universitario, por lo que se requiere que el sistema sea portable, y, que aproveche las energías existentes en estas áreas.

En el marco de este proyecto, considerando la disponibilidad de baldosas piezoeléctricas PowerLeap en la Sección de Electrónica y Energía SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL, se decidió valorar la potencialidad de aporte energético de estos dispositivos como fuente principal de harvesting de energía, para provisión al sistema a implementar, a partir de la captura de la energía humana de los estudiantes presentes en las zonas atendidas.

En este contexto, se identificó una serie de pruebas, orientadas a cualificar la energía potencialmente generable, al conectar las baldosas en serie, paralelo, o, de forma mixta, obteniendo así fuentes de tensión o de corriente [1].

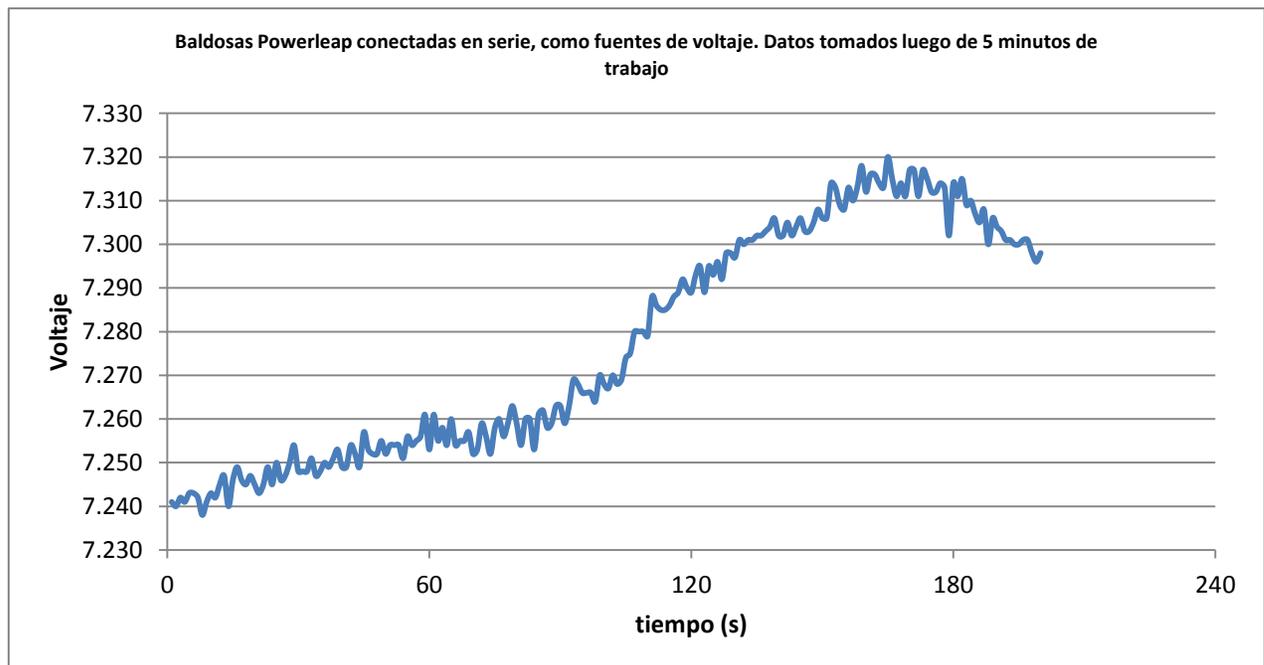
Una baldosa piezoeléctrica PowerLeap está diseñada para proporcionar una diferencia de potencial de hasta 60 V en sus bornes, ante un apoyo sencillo, con una moda de 0,5 s [2]. Debido a que el material piezoeléctrico presenta en su salida, diferentes niveles de voltaje

dependiendo de la deformación mecánica, se debe conectar a la salida de la baldosa un acondicionador. En este proyecto, se utilizó un acondicionador EH300.

Para la medición de las variables eléctricas de los esquemas en prueba, se utilizó un multímetro iDVM, de la compañía Redfish Instruments [3]. La data fue extraída del software propietario de iDVM, y, exportada a Microsoft Excel.

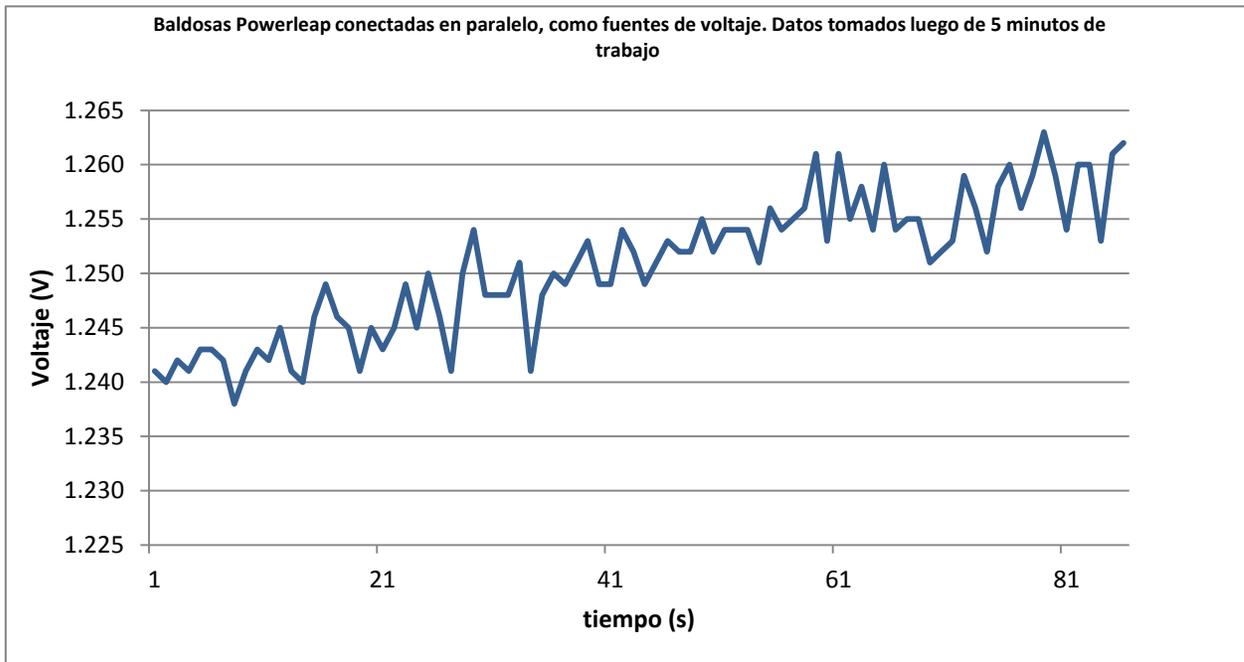
En la primera prueba planteada para valorar el desempeño de las baldosas, se conectó la salida de 2 acondicionadores en serie, y, se estableció una rutina de 2 saltos cada segundo sobre las baldosas. Con ayuda del multímetro se midió niveles de voltaje. Los resultados obtenidos muestran que a la salida del arreglo de baldosas, es posible obtener un voltaje de 7.2 V, luego de 5 minutos de trabajo sobre las baldosas. Este valor se mantiene constante mientras se conserven las vibraciones en la baldosa piezoeléctrica (ver Figura 1.1).

Al cesar las vibraciones en la baldosa piezoeléctrica, el nivel de voltaje decae a razón de 0,01 V por segundo, hasta alcanzar los 3.1 V, que es la carga interna del acondicionador.



**Figura 1.1** Característica de trabajo del arreglo de baldosas piezoeléctricas conectadas en serie. Fuente: diseño de los autores.

En una segunda prueba, se valoró el desempeño del arreglo de baldosas conectadas en paralelo, empleando la misma metodología establecida para el primer experimento. Los resultados obtenidos muestran que, a la salida del arreglo de baldosas es posible obtener un voltaje de 1.2 V al final de la prueba (ver Figura 1.2).



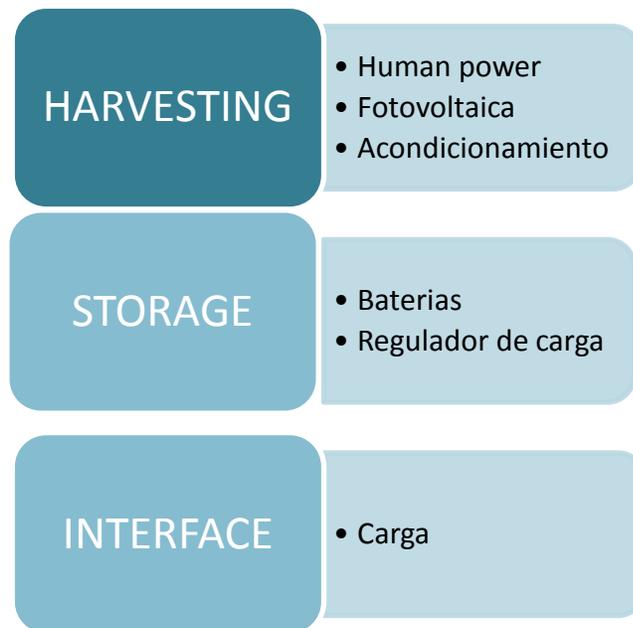
**Figura 1.2** Característica de trabajo del arreglo de baldosas piezoeléctricas conectadas en paralelo. Fuente: diseño de los autores.

El análisis de resultados, muestra que la disposición de las baldosas en serie es más eficiente que la conexión de las baldosas en paralelo, desde la perspectiva de obtener una mayor tensión en el menor tiempo posible. Sin embargo, la tensión estará limitada a la tensión de salida de los acondicionadores, lo que acarrea problemas al alimentar un sistema de acceso a Internet, generalmente potenciado a 24 V. Desde esta perspectiva, se recomendó implementar un módulo híbrido que permita incluir diversas formas de energía en la provisión de la alimentación del sistema requerido.

Por la naturaleza y ubicación del campus de la UTPL, en las zonas abiertas se ha identificado como potenciales opciones para harvesting, a la energía solar, la energía eólica, y, la energía humana. Considerando la disponibilidad de láminas solares existentes en la SEE del DCCE UTPL, se decidió implementar un módulo híbrido solar – piezoeléctrico para provisión de energía.

### 1.3. Prediseño del módulo de provisión de energía

En el marco de este proyecto, se propuso que el módulo de provisión de energía se construya a partir de 3 bloques funcionales: harvesting, storage, e, interface (ver Figura 1.3)



**Figura 1.3** Estructura del módulo de provisión de energía.

Fuente: diseño de los autores.

#### 1.3.1 Bloque de harvesting

El bloque de harvesting estará conformado por los transductores de energía y el acondicionador de señal.

Como transductor de energía solar, se utilizará láminas solares PowerFilm 28 W Rollable Solar, flexibles y delgadas, cuyas principales características técnicas se muestran en la Tabla 1.1 Especificaciones técnicas de la lámina solar PowerFilm R-28 [4]. Estas láminas están disponibles en la SEE del DCCE UTPL.

**Tabla 1.1** Especificaciones técnicas de la lámina solar PowerFilm R-28

Parámetro	Valor
Voltaje de operación (V)	15.4
Corriente de operación solar (A)	1.8
Peso (l/Kg)	1.8 / 0.816
Dimensiones lámina enrollada (mm)	101.6x368.3
Dimensiones lámina desenrollada (mm)	368.3x2025.6

Fuente:  
[www.cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/6991/1/Castro%20Andrea.pdf](http://www.cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/6991/1/Castro%20Andrea.pdf)

Como transductores de energía humana, se empleará baldosas piezoeléctricas PowerLeap, cuyas principales características técnicas se muestran en la Tabla 1.2 Especificaciones de la baldosa PowerLeap [2]. Estas baldosas están disponibles en la SEE del DCCE UTPL.

**Tabla 1.2** Especificaciones de la baldosa PowerLeap

Parámetro	Valor
Altura (cm)	3
Ancho (cm)	50
Largo (cm)	50
Peso que soporta (KN)	100

Fuente:  
[www.es.scribd.com/doc/152921385/dimensionamiento-de-sistema-PV-para-iluminacion-de-un-isla-de-descanso](http://www.es.scribd.com/doc/152921385/dimensionamiento-de-sistema-PV-para-iluminacion-de-un-isla-de-descanso)

Un acondicionador de señal es un dispositivo que ofrece una señal de salida  $y(t)$ , relacionada a una señal de entrada  $x(t)$ , y, con un nivel de señal apto para poder ser procesado por un equipo [6].

Debido a los diferentes niveles de señal de salida en las baldosas piezoeléctricas, no es posible su conexión directa a una batería en el bloque de storage, por el riesgo de daño al no cumplir con los parámetros de carga [7]. Por esta razón, se agrega un acondicionador de señal, que recepta la energía emitida por las baldosas, y, la almacena en un banco de condensadores. Cuando la tensión del condensador llega a 5.2V, el acondicionador “entrega” energía al bloque de almacenamiento [6].

Si la tensión a la entrada del acondicionador es alta, la salida se mantendrá en un nivel constante. Si la demanda de energía es mayor a la de generación, la tensión de salida disminuirá.

En el marco de este proyecto, se utilizará un acondicionador EH300A, cuyas principales características técnicas se muestran en la Tabla 1.3 [8].

**Tabla 1.3** Características del acondicionador EH300 A

Parámetro	Valor
Max. Instantaneous Input Voltage:	± 500V
Max. Instantaneous Input Current	400mA
Max. Input Power:	500mW
Internal voltage clamp:	7.0V@10mA
Max. output current	1A
Min charging input: EH300A	4.0V@500nA (2μW)
Output voltage: EH300A	VL=1.8V, Vh=3.6V, useful energy 30mJ

Fuente:  
[www.piezo.com/prodproto4EHkit.html](http://www.piezo.com/prodproto4EHkit.html)

### **1.3.2 Bloque de storage**

El bloque de storage de energía estará conformado por una batería especialmente seleccionada.

Para dimensionar los requerimientos de almacenamiento de la energía producida por los transductores de energía solar y piezoeléctrica, se deberá considerar la demanda de energía en el sistema de acceso a Internet [9]. En el marco de este proyecto, la carga principal a alimentar es el access point.

### **1.3.3 Bloque de interface**

El bloque de interface contendrá las terminales de conexión requeridas por la alimentación del access point (AP) a utilizar.

Un AP o punto de acceso, es un dispositivo que trabaja en redes inalámbricas tipo LAN, permitiendo la conexión a otros dispositivos según los permisos del AP, para posibilitar el acceso a servicios de internet, e-mail, chat, entre otros [10].

## **CAPÍTULO 2**

### **2. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS DEL MÓDULO HÍBRIDO FOTOVOLTAICO – PIEZOELÉCTRICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA A UN SISTEMA PORTABLE DE ACCESO A INTERNET, A UBICAR EN ZONAS DE BAJA COBERTURA EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL**

## **2.1 Introducción**

Para dimensionar los equipos de un módulo de provisión de energía, se debe considerar varios factores, tales como el tipo de carga a la cual se proveerá de energía, y, el requerimiento de energía y potencia de la carga.

Al tratarse de proyectos que involucran el uso de fuentes renovables de energía, adicionalmente a los requisitos planteados por la carga, debe anexarse el estudio de una arquitectura robusta del sistema, que permita garantizar la continuidad en la provisión de energía.

En este capítulo, se describe el prediseño de un sistema fotovoltaico piezoeléctrico, portable, para provisión de energía a un nodo de acceso a Internet, como parte de un grupo de iniciativas que lleva adelante la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCEE de la UTPL.

## **2.2. Definición de requerimientos de la carga del sistema**

### ***2.2.1 Selección de equipos activos***

Como primer paso para la definición de los requerimientos de carga del sistema a desarrollar, fue necesario seleccionar cuidadosamente los equipos activos del Access Point (AP), en función de las características y prestaciones técnicas exigidas.

En el marco de este proyecto, se decidió que el AP proyectado, contempla la interacción de 2 equipos activos, uno para recepción de la señal de Internet, y, otro para broadcast de la señal en la zona de cobertura.

Para la selección de los equipos activos del AP, se acordó considerar su ambiente de trabajo, la prestación de servicios, el rango de cobertura, la potencia de consumo, y, el peso y geometría.

Para la recepción de la señal de Internet, se analizó las características de 4 equipos activos existentes en el mercado de entre la marca Ubiquiti; preseleccionada por el largo alcance, y, el poco consumo de energía de los equipos. Luego del análisis (ver Tabla 2.1), se seleccionó el equipo activo NanoStationM5. Empleado en ambientes externos, el equipo trabaja a una frecuencia de 5 GHz, con una ganancia de 16dBi. Su potencia máxima de consumo es de 8W. Al aire libre, puede alcanzar una velocidad real de 150 Mbps, con hasta 15 km de alcance [11] (ver Figura 2.1).

**Tabla 2.1** Características eléctricas, físicas, y, ambientales de equipos activos Ubiquiti

Modelo	NSM5	NSM3/365	NSM2	locoM5
Dimensiones, mm	294 x 31 x 80			
Peso, Kg	0.4	0.5	0.4	0.18
Fuente de alimentación, V/A	24 / 0.5	24 / 1	24 / 0.5	24 / 0.5
Max. potencia de consumo, W	8	8	8	5.5
Frecuencia, MHz	5170 - 5875	3650-3675	2412-2462	5170 - 5875
Ganancia	16 dBi	13.7 dBi	11 dBi	13 dBi
Polarización	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal
Ambiente	Outdoor	Outdoor	Outdoor	Outdoor

Fuente:

[www.dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm\\_ds\\_web.pdf](http://www.dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm_ds_web.pdf)



**Figura 2.1** Vista panorámica de un equipo activo tipo NanoStationM5

Fuente:

[http://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm\\_ds\\_web.pdf](http://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm_ds_web.pdf)

Para el broadcast de la señal, se analizó las características de 5 equipos activos existentes en el mercado. Luego del análisis (ver Tabla 2.2), se decidió optar por un equipo AP Unifi AP Outdoor, considerando su bajo consumo de energía (4.6 W), el rango de cobertura (183 m), su uso en ambientes exteriores; el soporte a multiservicios como voz, video y datos; y, la capacidad de conectar hasta 100 usuarios simultáneamente.

**Tabla 2.2** Características eléctricas, físicas y ambientales de los equipos activos considerados para broadcast de la señal de Internet

Modelo	UniFi AP (UAP)	UniFi AP-LR (UAP-LR)	UniFI AP-AC	UniFI AP Outdoor	UniFI AP Outdoor 5G
Dimensiones, mm	200 x 200 x 36,5	200 x 200 x 36,5	200 x 200 x 27	170 x 80 x 30	170 x 80 x 30
Peso, gr	290	290	508	230	230
Fuente de alimentación, V/A	24/0.5	24/0.5	48/0.5	24/1	24/1
Max. potencia de consumo, W	4	6	22	4.6	6.5
Velocidad, Mbps	300	300	450	300	300
Rango, m	122	183	122	183	183
Puerto Ethernet Secundario			✓	✓	✓
Ambiente	Indoor	Indoor	Indoor	Outdoor	Outdoor
Estandar Wi-Fi	802.11 b / g / n	802.11 b / g / n	802.11 b / g / n / ac	802.11 b / g / n	802.11 a / n
Clientes Concurrentes	200+	100+	200+	100+	100+
5 Ghz			✓		✓
WMM	Video ,Voz y Datos				

Fuente:

[www.dl.ubnt.com/guides/UniFi/UniFi\\_AP\\_Outdoor\\_UG.pdf](http://www.dl.ubnt.com/guides/UniFi/UniFi_AP_Outdoor_UG.pdf)

### 2.2.2 Dimensionamiento de la carga total requerida

La Tabla 2.3 muestra la información relevante para el dimensionamiento de la carga total requerida por los equipos activos del sistema.

**Tabla 2.3** Información para el dimensionamiento de la carga total requerida en los equipos activos.

Equipo activo	Cantidad	Potencia, W	Uso, h/día
NanoStation M5	1	8	12
UniFI AP Outdoor	1	4.6	12

Fuente: diseño de los autores

El consumo de energía en el AP, se calcula entonces a través de la ecuación (1):

$$E = P * t * k \quad (1)$$

En dónde,

E, es el consumo de energía en el AP, Wh/día

P, es la potencia de consumo en el AP, W

t, es el tiempo de funcionamiento del AP en un día, h/día

k, es el factor de concurrencia

El factor de concurrencia en equipos digitales esta entre 0.5 y 0.9. En el marco de este proyecto, con la intención de prevenir eventualidades, se decidió utilizar un factor de concurrencia de 0.9. El tiempo de trabajo del AP se fijó 12 h por día.

$$E = (8W + 4.6W) * 12 \frac{h}{día} * 0.9$$

$$E = 136.08 \text{ Wh/día}$$

Por cuanto la energía requerida se consume en formato de corriente continua (CC), no se espera mayores pérdidas de energía entre la batería y el AP, salvo las pérdidas en los conductores.

La carga diaria de corriente, se determina a través de la ecuación (2):

$$I_{CD} = \frac{E_{cc}}{T_{cc}} \quad (2)$$

En dónde,

ICD, es la carga diaria de corriente, Ah

TCC, es la tensión de CC del sistema, V

La tensión Tcc del sistema, es la tensión nominal en la cual trabajará el sistema. Para este caso, considerando que los equipos activos trabajan en 24V, se planteó que todo el sistema opera en este voltaje. Por lo tanto,

$$I_{CD} = \frac{136.08 \text{ Wh/día}}{24 \text{ V}}$$

$$I_{CD} = 5.67 \text{ Ah}$$

La carga de corriente corregida, se calcula a través de la expresión (3):

$$I_{CC} = I_{CD} * fs \quad (3)$$

En dónde,

ICC, es la carga de corriente corregida, Ah

fs, es el factor de seguridad, %

$$I_{CC} = 5.67 \text{ Ah} * 1.2$$

$$I_{CC} = 6.804 \text{ Ah}$$

En resumen, se requiere que el sistema sea capaz de proveer de una corriente de 6.804 Ah, bajo un voltaje de 24V.

### **2.2.3 Dimensionamiento del bloque de baldosas piezoeléctricas**

La energía total generada por una baldosa piezoeléctrica, se calcula a través de la ecuación (4):

$$Et = Nt * Ei \quad (4)$$

En dónde,

Et, es la energía total generada, J

Nt, es el número total de pisadas, unid

$E_i$ , es la energía generada interna por cada pisada, J

Considerando que el sistema se ubicará en un área abierta del campus, sujeta a variaciones del clima, y, que los usuarios no participarán en forma muy activa en la generación de piezoelectricidad, se planteó un escenario muy conservador, en el que cada hora será posible registrar al menos 40 pisadas sobre una baldosa.

La energía generada por cada pisada, depende del tipo de baldosa. Debido a su disponibilidad en la SEE del DCCE UTPL, en este proyecto se utilizarán baldosas piezoeléctricas tipo PowerLeap, capaces de generar una energía interna de 5 J [13]. Entonces:

$$E_t = 40 * 5J$$

$$E_t = 200J$$

A través de la expresión (5), se puede convertir J en Wh:

$$E_p = P_t * \frac{1Wh}{3600J} \quad (5)$$

$$E_p = 200J * \frac{1Wh}{3600J}$$

$$E_p = 0.056 Wh$$

Al comparar la energía potencialmente generada por una baldosa piezoeléctrica, con la energía requerida por los equipos activos, se puede afirmar que no es posible abastecer de energía al sistema, sólo desde un bloque piezoeléctrico, por lo que se requiere de un sistema de provisión de arquitectura mixta, en el que se sugirió incluir un bloque fotovoltaico.

Para capturar la energía generada en las baldosas piezoeléctricas, se utilizará módulos cosechadores tipo EH300, conectados a la salida de cada una de las baldosas. Los cosechadores se conectarán en serie, para aumentar la tensión de salida.

Se propuso que el storage de energía en el sistema, se construirá sobre una batería. Los cosechadores entonces, aportarán la energía piezoeléctrica generada a través de un regulador de carga. La corriente máxima del regulador requerido, se estima mediante la expresión (6):

$$I_{\max\_R} = \frac{C_{\max\_I}}{T_{CCb}} \quad (6)$$

En dónde,

$I_{\max\_R}$ , es la corriente máxima del regulador, A

$C_{\max\_I}$ , es la capacidad máxima de las baldosas, W

$T_{ccb}$ , es la tensión de CC nominal de la batería, V

$$I_{\max\_R} = \frac{0.058 \text{ W}}{24 \text{ V}}$$

$$I_{\max\_R} = 0.00241 \text{ A}$$

Considerando que este regulador estará conectado en paralelo al regulador requerido para el bloque fotovoltaico propuesto, se requiere especial cuidado en la selección de componentes de igual impedancia interna. Se sugirió entonces, emplear un regulador de carga tipo Phocos CML10, de 10 A, el cual cumple con los parámetros calculados.

#### **2.2.4 Dimensionamiento del bloque fotovoltaico**

La corriente pico del sistema que será provista por el bloque fotovoltaico, se determina por la ecuación (7):

$$I_{\text{pico}} = \frac{I_{\text{CC}}}{R_S} \quad (7)$$

En dónde,

$I_{\text{pico}}$ , es la corriente pico del sistema, A

$R_S$ , es la radiación solar, kWh/m<sup>2</sup>

Según el Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica [12], la ciudad de Loja registra una radiación solar promedio anual de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>, por lo que:

$$I_{\text{pico}} = \frac{6.804 \text{ Ah}}{4.5 \text{ kWh/m}^2}$$

$$I_{\text{pico}} = 1.512 \text{ A}$$

El número de módulos solares requeridos en una arreglo paralelo, se determina a través de la expresión (8):

$$A_{\text{mod}} = \frac{I_{\text{pico}}}{I_{\text{lámina}}} \quad (8)$$

En dónde,

$A_{\text{mod}}$ , es el arreglo de módulos solares requeridos, unid

$I_{\text{lámina}}$ , es la corriente pico del módulo, A

En función de la disponibilidad de equipos en la SEE del DCCE, es este proyecto se decidió emplear láminas solares tipo PowerFilm 28 W Rollable Solar. De acuerdo a la hoja de características, éste tipo de láminas tienen una corriente pico de 1.8 A, y, trabajan a 15V, por lo que:

$$A_{\text{mod}} = \frac{1.512}{1.8}$$

$$A_{\text{mod}} = 0.84$$

La tensión de corriente continua nominal, se calcula con la expresión (9):

$$T_{\text{CCn}} = \frac{T_{\text{CC}}}{T_{\text{CCl}}} \quad (9)$$

En dónde,

$T_{\text{CCn}}$ , es la tensión de corriente continua nominal, V

$T_{\text{CCl}}$ , es la tensión de corriente continua de la lámina, V

$$T_{\text{CCn}} = \frac{24}{15}$$

$$T_{\text{CCn}} = 1.6 \text{ V}$$

El número total de módulos, se calcula a través de la expresión (10):

$$N_{\text{tm}} = A_{\text{mod}} * T_{\text{CCn}} \quad (10)$$

En donde,

$N_{\text{tm}}$ , es el número total de módulos, unid

$$N_{\text{tm}} = 0.84 * 1.6$$

$$N_{\text{tm}} = 1.344$$

$$N_{\text{tm}} \approx 2$$

Para proveer la energía requerida y alimentar al sistema en 24V, se necesita de 2 láminas conectadas en serie.

### **2.2.5 Dimensionamiento del bloque de storage de energía**

La energía proporcionada por el bloque piezoeléctrico y el bloque fotovoltaico, se almacenará en un banco de baterías, cuya capacidad de almacenamiento está dada por la ecuación (11):

$$C_{NBB} = I_{CC} * D_r \quad (11)$$

En dónde,

$C_{NBB}$ , es la capacidad nominal del banco de baterías, Ah

$D_r$ , es el número de días de reserva, unid

En el marco de este proyecto, se acordó que la reserva de energía sea sólo para 1 día, por lo que:

$$C_{NBB} = 6.804 \text{ Ah} * 1$$

$$C_{NBB} = 6.804 \text{ Ah}$$

La capacidad corregida del banco de baterías, está dada por la ecuación (12):

$$C_{CBB} = \frac{C_{NBB}}{P_d} \quad (12)$$

En dónde,

$C_{CBB}$ , es la capacidad corregida del banco de baterías, Ah

$P_d$ , es la profundidad de descarga, %

La profundidad de descarga depende del tipo de batería a utilizar. Para este proyecto se preseleccionó una batería Ritar RT12-120 de 12 Ah y 12 V, cuya profundidad de descarga es del 85%. Por lo tanto:

$$C_{CBB} = \frac{6.804 \text{ Ah}}{0.85}$$

$$C_{CBB} = 8.0047 \text{ Ah}$$

El número requerido de baterías, conectadas en paralelo, se determina a través de las ecuación (13):

$$A_{BP} = \frac{C_{CBB}}{C_{NB}} \quad (13)$$

En dónde,

$A_{BP}$ , es el arreglo de baterías en paralelo, unid

$C_{NB}$ , es la capacidad nominal de la batería, Ah

$$A_{BP} = \frac{8.0047}{12}$$

$$A_{bp} = 0.667$$

$$A_{bp} \approx 1$$

A pesar de que el cálculo muestra que no se requiere de baterías conectadas en paralelo, la necesidad de alimentar al sistema en 24 V, obliga a conectar 2 baterías en serie para alcanzar el voltaje requerido. No se selecciona una única batería de 24 V, debido a que la corriente pico de trabajo excede ampliamente los 12 Ah requeridos por la carga. En resumen, se conectará en paralelo 2 baterías Ritar RT12-120.

### **2.2.6 Dimensionamiento del regulador de carga del storage, desde el bloque fotovoltaico**

La corriente máxima del regulador se aproxima mediante la ecuación (14):

$$I_{\max\_R} = \frac{C_{\max\_I}}{T_{CCb}} \quad (14)$$

En dónde,

$I_{\max\_R}$ , es la corriente máxima del regulador, A

$C_{\max\_I}$ , es la capacidad máxima de las láminas, W

$T_{CCb}$ , es la tensión de CC nominal de la batería, V

$$I_{\max\_R} = \frac{28 \text{ W}}{24 \text{ V}}$$

$$I_{\max\_R} = 1.16 \text{ A}$$

Se requiere de un regulador de carga, de 1,16 A, cuya existencia es limitada en el mercado, razón por la cual se podría optar por un regulador de mayor capacidad.

### **CAPÍTULO 3**

- 3. INGENIERÍA DE DETALLE Y FABRICACIÓN DE UN MÓDULO HÍBRIDO FOTOVOLTAICO  
– PIEZOELÉCTRICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA A UN SISTEMA PORTABLE DE  
ACCESO A INTERNET A UBICAR EN ZONAS DE BAJA COBERTURA EN EL CAMPUS  
SAN CAYETANO DE LA UTPL**

### 3.1 Introducción

En el capítulo anterior se realizó el prediseño de un módulo híbrido fotovoltaico – piezoeléctrico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet, a ubicar en zonas de baja cobertura en el campus San Cayetano de la UTPL [15].

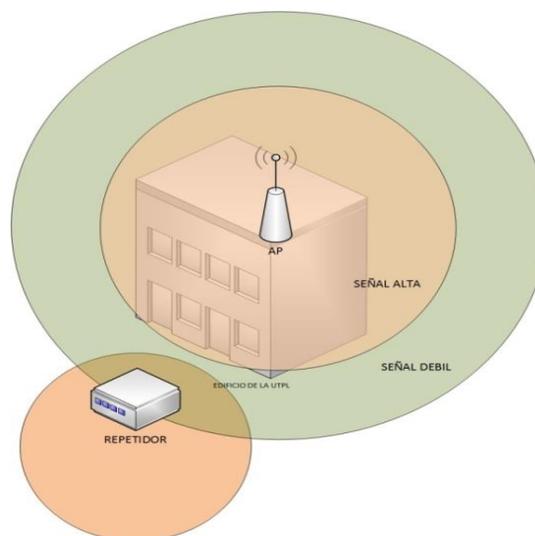
En este capítulo se describe los resultados obtenidos en la etapa de ingeniería de detalle, y, se explica el proceso de construcción del módulo.

### 3.2 Ingeniería de detalle del modulo

#### 3.2.1. Selección final de los componentes

En la etapa de prediseño, se planteó que en el AP proyectado interactúen 2 equipos activos, uno para recepción de la señal de Internet (NanoStationM5), y, otro para broadcast de la señal en la zona de cobertura (Unifi AP Outdoor) [15].

En la etapa de ingeniería de detalle, en función de la disponibilidad de equipos en la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL, se decidió no utilizar un radioenlace para conectar al módulo, sino aprovechar los servicios de un solo equipo activo, configurado como repetidor (ver Figura 3.1).



**Figura 3.1** Función de un repetidor receptando señal débil de un AP.

Fuente: diseño de los autores

Al analizar las características técnicas de los repetidores disponibles, se optó por trabajar con el Access Point Tp-link Repetidor TL-wa901nd Inalámbrico [16], cuyas principales características se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Características técnicas del AP Tp-link Repetidor TL-wa901nd.

<b>Características del hardware</b>	
<b>Interface</b>	Un puerto Ethernet 10/100 (RJ45)
<b>Suministro de Energía Externa</b>	12VDC / 1A
<b>Estándares Inalámbricos</b>	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
<b>Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)</b>	174*120*28.8mm
<b>Tipo de Antena</b>	3 * desmontable Omnidireccional de 4dBi
<b>Características inalámbricas</b>	
<b>Frecuencia</b>	2.4-2.4835GHz
<b>Velocidad de Señal</b>	11n: Hasta 300Mbps (dinámico) 11g: hasta 54Mbps (dinámico) 11b: hasta 11Mbps (dinámico)
<b>Modos Inalámbricos</b>	AP / Multi-SSID / AP Cliente / Repetidor / Universal, Repetidor / Bridge + AP
<b>Funciones Inalámbricas</b>	Activar / Desactivar radio inalámbrica, WDS Bridge,
<b>Seguridad Inalámbrica</b>	64/128/152-bit WEP / WPA / WPA2,WPA-PSK / WPA2-PSK
<b>DHCP</b>	Servidor DHCP

Fuente:

[www.tp-link.com/ar/products/details/?model=TL-WA901ND](http://www.tp-link.com/ar/products/details/?model=TL-WA901ND)

El repetidor seleccionado tiene una potencia nominal de 12W. Por lo tanto, el consumo de energía (E) en el repetidor, con un factor de concurrencia (k) de 0.9, y, un tiempo de trabajo (t) estimado en 12 horas al día, será de 129.6 Wh/día.

La tensión del sistema (Tcc), la tensión nominal en el repetidor, será de 12V, por lo cual la carga diaria de corriente (ICD) será de 10.8 Ah. La carga de corriente corregida (Icc), con un factor de seguridad (fs) de 1.2, será entonces de 12.96 Ah

En resumen, se requiere que el sistema sea capaz de proveer de una corriente de 12.96 Ah, bajo un voltaje de 12V.

Considerando 1 día de reserva (Dr), la capacidad de almacenamiento de las baterías (CNBB) se estima en 12.96 Ah. La capacidad corregida del banco de baterías (CNBB), con una

profundidad de descarga (Pd) del 85%, será de 15.24 Ah. De acuerdo a la disponibilidad de equipos en la SEE del DCCE, se utilizará una batería 6FM18-X AGM de 12V y 18Ah.

**Tabla 3.2** Características técnicas de batería 6FM18-X AGM

<b>Características generales</b>	
<b>Tecnología</b>	AGM - VRLA
<b>Voltaje nominal</b>	12VDC
<b>Capacidad Ah</b>	18Ah
<b>Vida útil</b>	10 años
<b>Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)</b>	181*77*167mm
<b>Peso</b>	5.7 Kg
<b>Número de celdas</b>	6
<b>Método de carga: carga con voltaje constante (20°C)</b>	
<b>Voltaje</b>	14.4 -14.7 V
<b>Máxima corriente de carga</b>	5.1 A
<b>compensación de temperatura</b>	-30mV/°C
<b>Standby</b>	13.6 -13.8 V

Fuente:

[www.powerplace.com.ec/site/pdf/baterias/vision/6FM18X.pdf](http://www.powerplace.com.ec/site/pdf/baterias/vision/6FM18X.pdf)

En la etapa de prediseño, se estimó que desde las baldosas PowerLeap, en condiciones promedio, se podría aportar 0.056 Wh de energía al módulo. Sin embargo las pruebas de campo demostraron la imposibilidad de aportar la energía requerida, razón por la cual se decidió reformular el concepto original para la provisión de energía, optando por una arquitectura híbrida que integre módulos fotovoltaicos y un nodo de carga desde la red pública de energía eléctrica.

Para poder integrar el módulo piezoeléctrico a la nueva arquitectura, se requiere de un controlador de carga que soporte la corriente máxima entregada por las baldosas, la cual se estima en de 4.7 mA. En el mercado, se puede encontrar controladores de 1A como mínimo, por lo que se decidió utilizar el controlador J2 LED lighting SCLED-12V1A.

**Tabla 3.3** Características técnicas del controlador de carga J2 LED lighting

Características generales	
<b>Voltaje máximo</b>	12VDC
<b>Amperaje máximo</b>	1 A
<b>Máx Watts de panel solar</b>	18 Watts

Fuente:  
[www.j2ledlighting.com/html/solar.html](http://www.j2ledlighting.com/html/solar.html)

En el módulo se utilizará láminas solares PowerFilm 28 W Rollable Solar, disponibles en SEE del DCCE, las mismas que una corriente pico de 1.8 A a 15V. La corriente pico del sistema (Ipico), para una radiación solar promedio anual (RS) de 4.5 kWh/m<sup>2</sup> [15], será de 2.88 A, por lo que se requiere de un arreglo (Amod) de 2 láminas conectadas en paralelo.

**Tabla 3.4** Características técnicas de la lámina PowerFilm 28 W Rollable Solar. [5]

Características generales	
<b>Potencia</b>	28 W
<b>Amperaje de operación</b>	1.8 A
<b>Voltaje de operación</b>	15.4 V
<b>Peso</b>	0.82Kg
<b>Medidas</b>	2025.6 * 368.3 mm desenrollado 368.3 * 101.6 mm enrollado

Fuente:  
[www.es.scribd.com/doc/152921385/dimensionamiento-de-sistema-PV-para-iluminacion-de-un-isla-de-descanso](http://www.es.scribd.com/doc/152921385/dimensionamiento-de-sistema-PV-para-iluminacion-de-un-isla-de-descanso)

Las láminas requieren de un controlador de carga para integrarse al módulo, con una corriente máxima de 3.6 A. De acuerdo a la disponibilidad de equipos en la SEE del DCCE, se decidió utilizar un controlador Sunforce de 7 A.

**Tabla 3.5** Características técnicas del controlador de carga Sunforce de 7A

Características generales	
<b>Cut-in Voltage</b>	13 V
<b>Cut-out Voltage</b>	14.2 V
<b>Max. Load</b>	105 Watts/ 7 Amps

Fuente:  
[www.sunforceproducts.com/prodinfo/manuals/60012\\_7AmpCCManual.pdf](http://www.sunforceproducts.com/prodinfo/manuals/60012_7AmpCCManual.pdf)

Para provisión de energía al módulo desde la red eléctrica pública, se utilizará un controlador de carga Phoco CML10 (que opera a 15V con una corriente máxima de 10A), y, un adaptador de voltaje 110V / 15V a 4A.

Los controladores de carga se conectarán en paralelo para alimentar la batería. Los reguladores de carga se implementan con el propósito de evitar que las corrientes de retorno afecten a los otros transductores, para evitar una sobrecarga que afecte al tiempo de vida de la batería y para evitar una descarga no permitida por la misma [19].

**Tabla 3.6** Características técnicas del controlador de carga Phocos CML10

Características generales	
Máxima corriente de módulos	10A
Máxima corriente de consumo	10A
Voltaje nominal del sistema	12/24V
Autoconsumo	<4mA
Dimensiones	80 x 100 x 32 mm
Tipo de protección	IP22

Fuente:  
[www.phocos.com/es-ES/datasheet\\_cc\\_cml.html](http://www.phocos.com/es-ES/datasheet_cc_cml.html)

La energía requerida por la carga del módulo es de 191.16 Wh/día. La potencia nominal del inversor debe ser al menos igual a la carga instalada, más un 25% [18], De esta forma, la potencia del inversor se estimó en 240 W, por lo que se decidió emplear un inversor Avtec IN-300 de 300 W.

**Tabla 3.7** Características del Inversor Avtec IN-300

Características generales	
Voltaje de entrada	12 VDC/ 29 <sup>a</sup>
Rango de voltaje de entrada	10 – 16 VDC
Voltaje de salida	115 VAC / 60Hz
Potencia máxima	300 Watts
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	80 x 100 x 32 mm
Fusible interno	40 A
Conexión de salida	2 tomas Nema 5-15 R

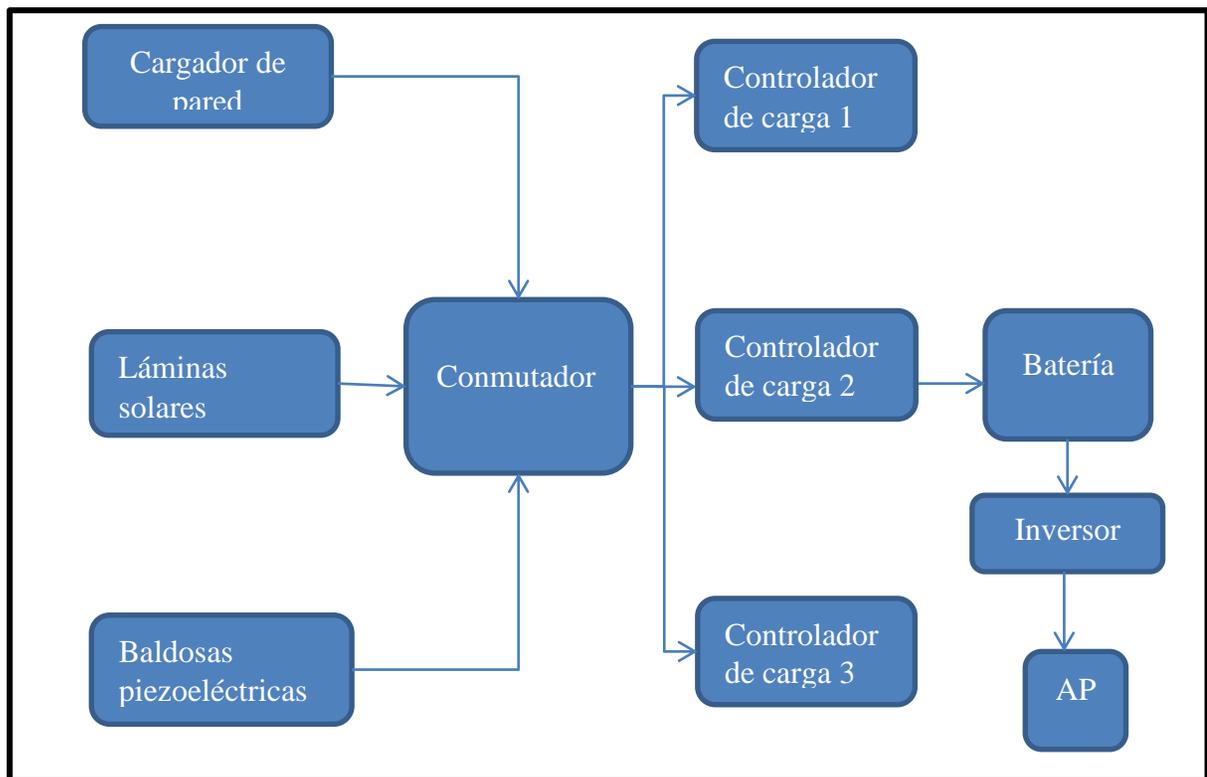
Fuente:  
[www.datastore.com.ve/inversor-portatil-avtek-300w-c-pto-usb-in-300-avtek](http://www.datastore.com.ve/inversor-portatil-avtek-300w-c-pto-usb-in-300-avtek)

### 3.2.2 Arquitectura, diagrama de bloques y esquema eléctrico del módulo

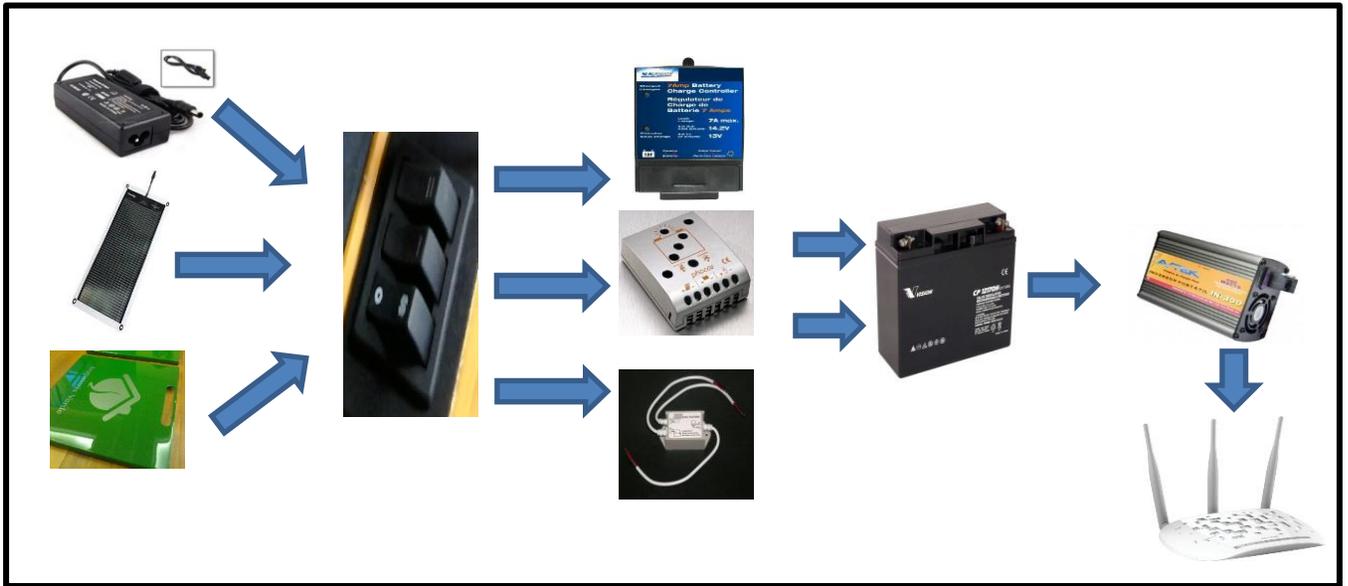
La arquitectura final del módulo se muestra en la Figura 3.2. Los transductores de energía (baldosas piezoeléctricas, láminas solares, y, cargador de pared) se conectan al esquema a través de un conmutador. El conmutador tiene dos estados. En el primero, se carga la batería desde la red pública, mientras permanece desactivada la entrada de energía desde las láminas solares y las baldosas piezoeléctricas. En el segundo estado, la batería se carga desde las láminas solares y las baldosas piezoeléctricas.

La batería se conecta al inversor, que provee de AC para la alimentación del repetidor Tp-link.

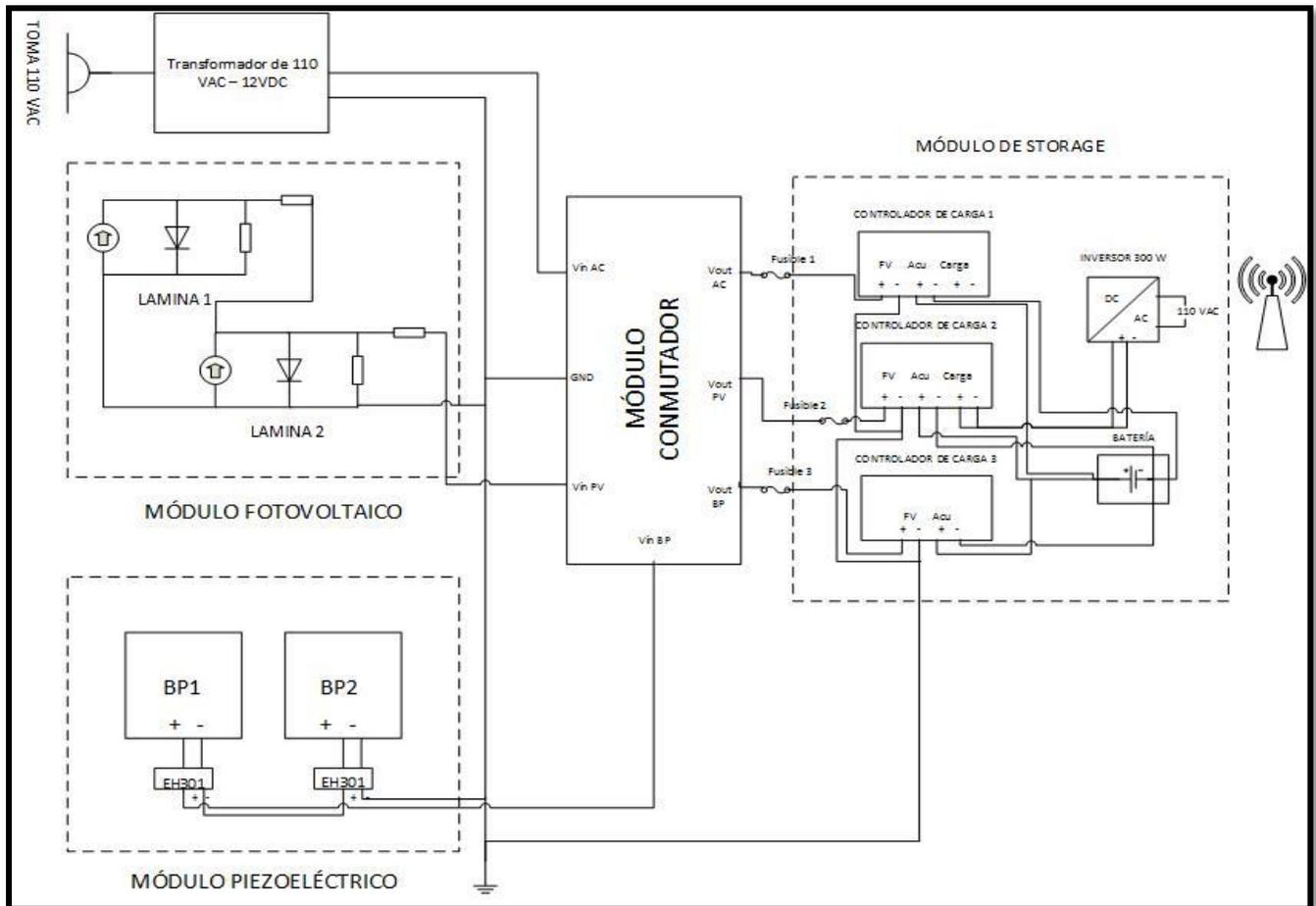
La Figura 3.3 muestra el esquema de conexión de los componentes del módulo, mientras que la Figura 3.4 muestra el diagrama eléctrico final.



**Figura 3.2.** Arquitectura del módulo.  
Fuente: diseño por los autores.



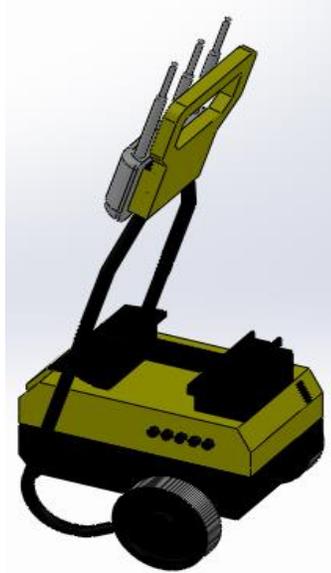
**Figura 3.3** Diagrama del módulo.  
Fuente: diseño de los autores.



**Figura 3.4** Arquitectura general de las conexiones del módulo híbrido fotovoltaico y piezoeléctrico.  
Fuente: diseño de los autores

### 3.2.3 Esquema mecánico

Los componentes del módulo se distribuyeron en la carcasa de una antigua hidrolavadora, de acuerdo a las adaptaciones mostradas en la Figura 3.5



**Figura 3.5** Vista en 3D del módulo a implementar.  
Fuente: diseño de los autores.

### 3.3. Implementación del módulo

El proceso de implementación del módulo se muestra en las Figura 3.6 a la Figura 3.13



**Figura 3.6** Vista frontal y posterior de la carcasa a reutilizar  
Fuente: fotografía de los autores.



**Figura 3.7** Ubicación de controladores de carga y del cosechador en el cuerpo del equipo reutilizado.  
Fuente: fotografía de los autores.



**Figura 3.8** Ubicación de las protecciones en el exterior del cuerpo.  
Fuente: fotografía de los autores.



**Figura 3.9** Ubicación de las bahías en el exterior del cuerpo.  
Fuente: fotografía de los autores.



**Figura 3.10** Ubicación de la batería y del inversor en la base del cuerpo.  
Fuente: fotografía de los autores.



**Figura 3.11** Ubicación de la interface del inversor en el cuerpo.

Fuente: fotografía de los autores.



**Figura 3.12** Sujeción del AP al módulo.

Fuente: fotografía de los autores.



**Figura 3.13** Módulo de provisión de energía con todos sus componentes acoplados.  
Fuente: fotografía de los autores.

## **CAPITULO 4**

### **4. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN MÓDULO HÍBRIDO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA A UN SISTEMA PORTABLE DE ACCESO A INTERNET, A UBICAR EN ZONAS DE BAJA COBERTURA DE INTERNET EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTP**

## 4.1 Introducción

Como parte de un grupo de iniciativas de la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL, se diseñó y construyó un módulo híbrido fotovoltaico – piezoeléctrico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet, a ubicar en zonas de baja cobertura en el campus San Cayetano de la UTPL [15].

En este documento, se describe los resultados obtenidos al evaluar el desempeño del módulo, tanto desde una perspectiva de gestión de energía como desde la visión de la cobertura de la señal de acceso a Internet.

## 4.2 Descripción general del sistema implementado

La Tabla 4.1 resume las características más importantes del módulo diseñado e implementado.

**Tabla 4.1** Características técnicas del módulo diseñado e implementado.

Equipamientos	Características
Controlador de carga (baldosas PE)	1A / 12V
Controlador de carga (láminas solares)	7A / 14V
Controlador de carga (cargador de pared)	10A / 15V
Cosechador de energía EH300	5V
Batería	18Ah / 12V
Inversor	300 W
Repetidor	1A / 12V
Cargador de pared	In: 120V / Out: 4.8A - 15V

Fuente: diseño de los autores

El módulo implementado se provee de energía desde un almacén de posibilidades: desde dos baldosas piezoeléctricas, desde dos láminas solares, o, desde un cargador de pared (ver Figura 4.1).

La fuente de alimentación de energía al módulo, se selecciona a través de 3 interruptores individualizados (ver Figura 4.2). Al aire libre, se activan los interruptores 1 y 2, permitiendo que el módulo se alimente de láminas solares y baldosas piezoeléctricas. Si el módulo se encuentra

dentro de un edificio, con acceso a la red eléctrica convencional, este puede ser alimentado desde un tomacorriente de 110 VAC, activando el interruptor 3. Con el ánimo de evitar sobrecargas en el módulo, se recomienda no activar los 3 interruptores simultáneamente.



**Figura 4.1** Bahías para la conexión del módulo a láminas solares y baldosas piezoeléctricas.  
Fuente: fotografía de los autores.



**Figura 4.2** Selección de la fuente de alimentación al módulo.  
Fuente: fotografía de los autores.

Todas las bahías están protegidas por fusibles (ver Figura 4.3).



**Figura 4.3** Fusibles de protección a los equipos.  
Fuente: fotografía de los autores.

El módulo tiene 2 bahías de salida, en forma de tomacorrientes de AC, activadas a través de un interruptor. Una toma se utiliza para alimentar al repetidor, mientras que la otra es de reserva (ver Figura 4.4).



**Figura 4.4** Bahías de salida del módulo.  
Fuente: fotografía de los autores.

### **4.3 Prueba de desempeño del módulo implementado**

Las pruebas para evaluar el desempeño del módulo se dividieron en dos dominios: carga/consumo de energía, y, cobertura de acceso a internet.

#### **4.3.1 Carga/consumo de energía en el módulo**

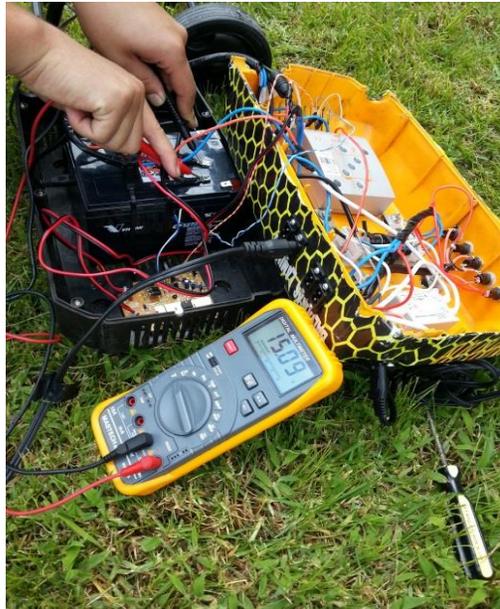
Para analizar el desempeño energético del módulo, se evaluó el proceso de carga de la batería (desde las láminas solares, desde las baldosas piezoeléctricas, y, desde la red pública de abastecimiento eléctrico), y, la demanda de potencia del repetidor durante su operación.

Las pruebas se realizaron al aire libre, entre las 10h30 y las 12h00 del día jueves 23 de enero de 2014. El módulo fue ubicado entre el edificio exUPSI y la capilla del campus.

##### **4.3.1.1 Carga del módulo desde las láminas solares**

En esta prueba, se conectó una lámina solar al módulo. La lámina fue orientada en dirección oeste. La verificación de funcionamiento de la lámina, mostró que esta entregaba en sus bornes 20 VCD. Con el módulo conectado, se pudo verificar que luego del controlador de carga, el voltaje era de 15 VCD, con un amperaje medido de 1A (ver Figura 4.5). Se confirmó

entonces que el módulo si puede recibir un aporte de energía fotovoltaica, si las condiciones climáticas lo permiten.



**Figura 4.5** Prueba de carga del módulo desde una lámina solar.

Fuente: fotografía de los autores.

#### **4.3.1.2 Carga del módulo desde las baldosas piezoeléctricas**

Las baldosas piezoeléctricas se conectaron al módulo a través de un cosechador de energía tipo EH300 (ver Figura 4.6). El cosechador se cargó a su voltaje de salida en aproximadamente 8 minutos, luego de lo cual empezó a enviar energía hacia la batería del módulo. Durante la operación, mantuvo un voltaje de sólo 4 V. En este sentido, se confirmó la hipótesis formulada en la fase de diseño, sobre el hecho de que la tecnología piezoeléctrica disponible para este proyecto, no es capaz por si sola de alimentar al módulo.



**Figura 4.6** Prueba de carga del módulo desde una baldosa piezoeléctrica.  
Fuente: fotografía de los autores.

#### **4.3.1.3 Carga del módulo desde la red pública**

En este modo de operación, se conectó el módulo a la red eléctrica convencional. A la salida del controlador de carga, se registró un voltaje de 14,4V y una corriente de 4A.

#### **4.3.1.4 Demanda de potencia del repetidor**

La hoja técnica del repetidor utilizado en este proyecto, refiere que este opera a 9VDC, con un amperaje nominal de 0.85A [24], por lo que se espera que la batería del módulo, totalmente cargada, con una capacidad de 12 Ah, pueda sostener el funcionamiento del repetidor al menos durante 14 horas.

Sin embargo, las pruebas de campo mostraron que durante la operación del repetidor, la conexión de usuarios a Internet aumentó la corriente en el equipo por lo que se espera un menor tiempo de respaldo.

### **4.4 Cobertura de acceso a Internet**

Para determinar el área de cobertura, se configuró el access point AP del módulo en modo repetidor, y, se lo conectó a una red existente en el campus, cuyo AP está ubicado a menos de

15 metros del módulo. La nueva red configurada, se identificó con el SSID de MODULO MOVIL.

El área de cobertura se estableció con ayuda del software Ekahau Heatmapper, de distribución gratuita, que permite obtener un “mapa de color” de una red WIFI dada, de acuerdo a la intensidad de la señal (ver Tabla 2). La Fig.7 muestra el mapa de color obtenido para la red MODULO MOVIL.

**Tabla 4.2** Correspondencia entre la intensidad de señal y el color en el mapa generado por Ekahau Heatmapper.

Intensidad en dBm	Color
-56 a -48	Verde
-64 a -56	Verde claro
-72 a -64	Amarillo
-80 a -72	Naranja

Fuente: diseño de los autores.

Los resultados obtenidos mostraron que el módulo ofrece acceso a Internet de buenas prestaciones. Considerando la topología del campus, en un área de 10 m<sup>2</sup> respecto al lugar de ubicación del AP, la señal tiene una intensidad entre -56 y -48 dBm. La calidad de señal permite conectarse al módulo incluso en un área de 30 m<sup>2</sup> respecto al punto de origen de la señal.



## CONCLUSIONES

- En función de las fuentes renovables de energía accesibles en el campus de la UTPL, y, de la disponibilidad de dispositivos de harvesting en los laboratorios de la universidad, se decidió diseñar e implementar un módulo de provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet, basado en el aprovechamiento de energía piezoeléctrica y fotovoltaica.
- Las pruebas realizadas con las baldosas piezoeléctricas, mostraron que la conexión en serie entre ellas, es la de mejor desempeño, ya que las tensiones a la salida de los acondicionadores se suman. Aun así, la tensión generada por las baldosas no es suficiente para alimentar el sistema portable, razón por la cual la mayor parte de la energía será proporcionada por las láminas fotovoltaicas.
- Se decidió que el módulo de provisión de energía se sustente en una arquitectura de 3 bloques: el bloque de harvesting, el bloque de storage y el bloque de interface.
- El bloque de harvesting estará conformado por láminas solares PowerFilm 28W y baldosa piezoeléctricas de PowerLeap, cada una de ellas con su respectivo acondicionador EH300A.
- En el bloque de storage se encontrarán baterías, especialmente seleccionadas para el almacenamiento, en función de tamaño, peso, y, capacidad.
- El dimensionamiento de un sistema de provisión de energía, parte de la definición de los requerimientos de la carga. En este proyecto, como carga actúan 2 equipos activos, cuya selección se fundamenta en el cumplimiento de los requisitos para la recepción de la señal de Internet, y, su broadcast en la zona de cobertura.
- Por cuanto, la energía potencialmente generada por un arreglo de baldosas piezoeléctricas no es suficiente para abastecer de energía completamente al sistema, se replanteó la arquitectura originalmente propuesta, incluyendo un nuevo bloque fotovoltaico.
- En la nueva arquitectura, la energía generada por el sistema híbrido se almacenará en un bloque de storage, montado sobre un banco de baterías.
- Se realizó una comparativa entre varios APs y se determinó que el AP TLP-WA901ND es el más adecuado para esta aplicación, ya que cumple con las especificaciones requeridas con respecto a cobertura, velocidad de transmisión, multiservicios y consumo.

- Para minimizar los gastos de fabricación del módulo, se tomó en cuenta dispositivos existentes en el DCCE de la UTPL, para ello se hizo uso de tres controladores de carga, un cosechador de energía, un inversor y una batería.
- Para el ensamblaje de todos los dispositivos, se recicló la carcasa de una hidrolavadora en desuso, a la misma que se le hicieron varias modificaciones, como cortes y perforaciones para adecuarla a lo requerido dentro del proyecto. Una vez instalado todo dentro y fuera de la carcasa, se procedió a pintar y forrar la carcasa con vinil, para posteriormente ser etiquetada.
- Todos los dispositivos fueron asegurados con tornillos, arandelas y tuercas, en algunos casos se hizo uso de láminas de aluminio para una mayor seguridad.
- Las pruebas de carga y demanda de energía en el módulo, demostraron que el prototipo responde a las exigencias planteadas en la etapa de diseño.
- Las pruebas de cobertura, mostraron que la calidad de la señal es aceptable.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fuente eléctrica [Online]: Disponible en: <<http://jorgezamora.wikispaces.com/file/view/CIRCUITOS+Y+FUENTES+SERIE+PARALEO.pdf>> [Consultado el 1 de Junio del 2013].
- [2] Análisis de la operación y desempeño de un sistema de generación de energía con la utilización de baldosas piezoeléctricas [Online]: Disponible en: <<http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/5883/1/Tesis%20de%20Merino%20Vicente.pdf>> [Consultado el 1 de Julio del 2013].
- [3] Multímetro iDVM [Online]: Disponible en: <<http://www.redfishinstruments.com/products/iDVM>> [Consultado el 3 de Mayo del 2013].
- [4] Caracterización del desempeño de láminas solares [Online]: Disponible en: <<http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/6991/1/Castro%20Andrea.pdf>> [Consulta: Julio 2013].
- [5] R. Cueva, A Guamán, J Jaramillo. Dimensionamiento de equipos para el sistema de provisión de energía fotovoltaica para iluminación de una isla experimental en el campus UTPL [Online]: Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/152921385/dimensionamiento-de-sistema-PV-para-iluminacion-de-un-isla-de-descanso>> [Consultado el 6 de Julio del 2013].
- [6] Ramón Pallás Areny, Sensores y acondicionadores de señal, 4ta ed, Marcombo SA, 2003. [Consultado el 8 de Julio del 2013].
- [7] YUASA. "Batería para automoción". Corporación para la investigación energética. [Online]: Disponible en: <[http://www.yuasaeurope.com/ib/automotive/technical/all\\_you\\_need\\_to\\_know\\_about\\_batteries](http://www.yuasaeurope.com/ib/automotive/technical/all_you_need_to_know_about_batteries)> [Consultado el 4 de Julio del 2013].
- [8] Piezo Systems, INC. "Piezoelectric Energy Harvesting Kit", [Online]. Disponible en: <<http://www.piezo.com/prodproto4EHkit.html>> [Consultado el 4 de Julio del 2013].
- [9] Calculo del sistema de electrificación solar para cubrir la demanda de Iluminación en un barco turístico en el archipiélago de Galápagos [Online]: Disponible en: <<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17117/1/informe%20cycit%20final.pdf>> [Consultado el 1 de Junio del 2013].
- [10] Punto de acceso. [Online]: Disponible en: <http://www.ordenadores-y-portatiles.com/punto-de-acceso.html>> [Consultado el 4 de Julio del 2013].
- [11] UBIQUITI. "NanoStationTMM". [Online]: Disponible en: <[http://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm\\_ds\\_web.pdf](http://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm_ds_web.pdf)> [Consultado el 6 de Julio del 2013].
- [12] CONECEL. "Atlas Solar del Ecuador". Corporación para la investigación energética. [Online]: Disponible en: <[http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf)> [Consultado el 8 de Julio del 2013].

- [13] Universidad Politécnica Salesiana Ecuador. “Análisis, evaluación técnica y económica para la transformación de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca en una Universidad energéticamente verde”. [Online]: Disponible en:< <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2914>> [Consultado el 8 de Julio del 2013].
- [14] Unifi Ap Outdoor. [Online]: Disponible en:< [http://dl.ubnt.com/guides/UniFi/UniFi\\_AP\\_Outdoor\\_UG.pdf](http://dl.ubnt.com/guides/UniFi/UniFi_AP_Outdoor_UG.pdf)> [Consultado el 9 de Julio del 2013].
- [15] Delgado Luis, Sinche Luis. Jaramillo Jorge. “Dimensionamiento de equipos del módulo híbrido fotovoltaico – piezoeléctrico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet, a ubicar en zonas de baja cobertura en el campus San Cayetano de la UTPL”
- [16] TP-LINK The Real Choice. Punto de Acceso Inalámbrico N a 300Mbps. TL-WA901ND. [Online]: Disponible en:< <http://www.tp-link.com/ar/products/details/?model=TL-WA901ND>> [Consulta Octubre 2013].
- [17] VISION, “Batería 6FM18-X 12V 18 Ah”. [Online]. Disponible en: < <http://www.powerplace.com.ec/site/pdf/baterias/vision/6FM18X.pdf>> [Consulta Octubre de 2013].
- [18] Norma Ecuatoriana NEC-11, Capitulo 14, Energías Renovables, 06 de Abril del 2011. [Consulta julio 2013].
- [19] Ingeniería de detalle y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica a aplicaciones de camping, basado en el aprovechamiento de energía solar. Luis Morales, Vicente Quezada, Luis Riofrío, Jorge Jaramillo. [Online]. Disponible en: <<http://www.utpl.edu.ec/blogjorgeluisjaramillo/>>
- [20] J2 Solar. SCLED-12V1A [Online]: Disponible en:< <http://j2ledlighting.com/html/solar.html#>>
- [21] Phocos. [Online]: Disponible en:< [http://www.phocos.com/es-ES/datasheet\\_cc\\_cml.html](http://www.phocos.com/es-ES/datasheet_cc_cml.html)>
- [22] Sunforce. 7 AMP SOLAR CHARGE CONTROLLER. Disponible en:< [http://www.sunforceproducts.com/prodinfo/manuals/60012\\_7AmpCCManual.pdf](http://www.sunforceproducts.com/prodinfo/manuals/60012_7AmpCCManual.pdf)>
- [23] Data Store Venezuela. Inversor Portatil Avtek 300W C/ Pto Usb IN-300. Disponible en:< <http://www.datastore.com.ve/inversor-portatil-avtek-300w-c-pto-usb-in-300-avtek>>
- [24] TP-LINK. Punto de Acceso Inalámbrico N a 300Mbps. TL-WA901ND. [Online]: Disponible en:< [http://www.tp-link.com/resources/document/TL-WA901ND\\_V3\\_Datasheet.pdf](http://www.tp-link.com/resources/document/TL-WA901ND_V3_Datasheet.pdf)> [Consultado el 3 Enero 2014].

### ***ANEXO 1***

**PAPER: Diseño y fabricación de un módulo híbrido fotovoltaico – piezoeléctrico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a internet, a ubicar en zonas de baja cobertura en el campus San Cayetano de la UTPL**

# Diseño y fabricación de un módulo híbrido fotovoltaico – piezoeléctrico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet, a ubicar en zonas de baja cobertura en el campus San Cayetano de la UTPL

Luis Delgado<sup>#1</sup>, Luis Sinche<sup>#2</sup>, Jorge Luis Jaramillo<sup>#3</sup>

<sup>#1-2</sup> Profesionales en formación, IET, Universidad Técnica Particular de Loja.

<sup>#3</sup> Docente del DCCE, Universidad Técnica Particular de Loja.  
Loja, Ecuador 2013.

[ledelgado@utpl.edu.ec](mailto:ledelgado@utpl.edu.ec), [ldsanche@utpl.edu.ec](mailto:ldsanche@utpl.edu.ec), [jorgeluis@utpl.edu.ec](mailto:jorgeluis@utpl.edu.ec)

**Resumen**—Se describe el diseño, fabricación, y, evaluación de un módulo híbrido fotovoltaico – piezoeléctrico para provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet, a ubicar en zonas de baja cobertura de internet en el campus San Cayetano de la UTPL.

**Palabras claves**—harvesting de energía, sistemas híbridos de provisión de energía.

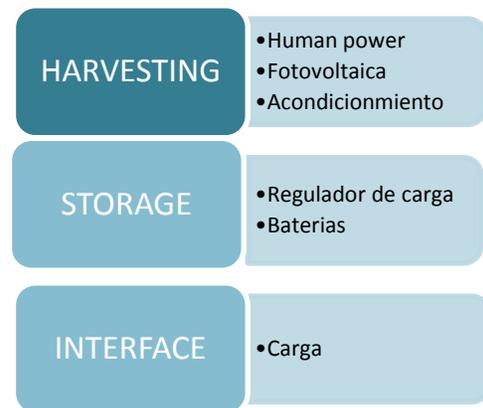
## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, varias son las iniciativas de harvesting de energía que, capturan pequeñas cantidades de las diversas formas de energía existentes a nuestro alrededor. En este contexto, se ha propuesto impulsar una iniciativa que permita evaluar la potencialidad de una solución tecnológica que aproveche la energía renovable, para dotar de Internet a un área de baja cobertura, facilitando la recuperación de espacios en el Campus San Cayetano de la UTPL.

En este documento, se describe el diseño, la implementación y la evaluación de un módulo que aprovecha energías no convencionales para alimentar un sistema portable para proveer de Internet en zonas de baja cobertura.

## II. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MÓDULO DE PROVISIÓN DE ENERGÍA

En el marco de este proyecto, se propuso que el módulo de provisión de energía se construya a partir de 3 bloques funcionales: harvesting, storage, e, interface (Ver Fig. 1).



**Fig.1.** Estructura del módulo de provisión de energía. [Diseño de los autores].

### A. Bloque de harvesting

El bloque de harvesting estará conformado por los transductores de energía y el acondicionador de señal.

Como *transductor de energía solar*, se utilizará láminas solares PowerFilm 28 W Rollable Solar, flexibles y delgadas, cuyas principales características técnicas se muestran en la Tabla. 1 [1]. Estas láminas están disponibles en la Sección de Electrónica y Energía SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL.

**Tabla 1**

Especificaciones técnicas de la lámina solar PowerFilm R-28 [1]

Parámetro	Significado
Voltaje de operación (V)	15.4
Corriente de operación solar (A)	1.8
Peso (l/Kg)	1.8 / 0.816
Dimensiones lámina enrollada (mm)	101.6x368.3
Dimensiones lámina desenrollada (mm)	368.3x2025.6

Como *transductores de energía humana*, se empleará baldosas piezoeléctricas PowerLeap, cuyas principales características técnicas se muestran en la Tabla 2 [2]. Estas láminas están disponibles en la SEE del DCCE UTPL.

**Tabla 2**

Especificaciones de la baldosa PowerLeap [2]

Parámetro	Significado
Altura (cm)	3
Ancho (cm)	50
Largo (cm)	50
Peso que soporta (KN)	100

Un  *acondicionador de señal*  es un dispositivo que ofrece una señal de salida  $y(t)$ , relacionada a una señal de entrada  $x(t)$ , y, con un nivel de señal apto para poder ser procesado por un equipo [3].

Debido a los diferentes niveles de señal de salida en las baldosas piezoeléctricas, no es posible su conexión directa a una batería en el bloque de storage, por el riesgo de daño a no cumplir con los parámetros de carga [4]. Por esta razón, se agrega un acondicionador de señal, que recepta la energía emitida por las baldosas, y, la almacena en un banco de condensadores.

En el marco de este proyecto, se utilizará un acondicionador **EH300A**, cuyas principales características técnicas se muestran en la Tabla 3 [5].

**Tabla 3**

Tabla de características del acondicionador EH300 A [5]

Parámetro	Significado
Max. Instantaneous Input Voltage:	$\pm 500V$
Max. Instantaneous Input Current	400mA
Max. Input Power:	500mW
Internal voltage clamp:	7.0V @ 10mA
Max. output current	1A
Min charging input: EH300A	4.0V @ 500nA (2 $\mu$ W)
Output voltage: EH300A	$V_L=1.8V$ , $V_h=3.6V$ , useful energy 30mJ

### B. Bloque de storage

El bloque de storage de energía estará conformado por una batería especialmente seleccionada. Para dimensionar los requerimientos de almacenamiento de la energía producida por los transductores de energía solar y piezoeléctrica, se deberá considerar la demanda de energía

en el sistema de acceso a Internet [6]. En el marco de este proyecto, la carga principal a alimentar es el access point.

### C. Bloque de interface

El bloque de interface contendrá las terminales de conexión requeridas por la alimentación del access point (AP) a utilizar.

Un AP o punto de acceso, es un dispositivo que trabaja en redes inalámbricas tipo LAN, permitiendo la conexión a otros dispositivos según los permisos del AP, para posibilitar el acceso a servicios de internet, e-mail, chat, entre otros [7].

## III. DISEÑO DEL MÓDULO

### A. Selección de equipos activos

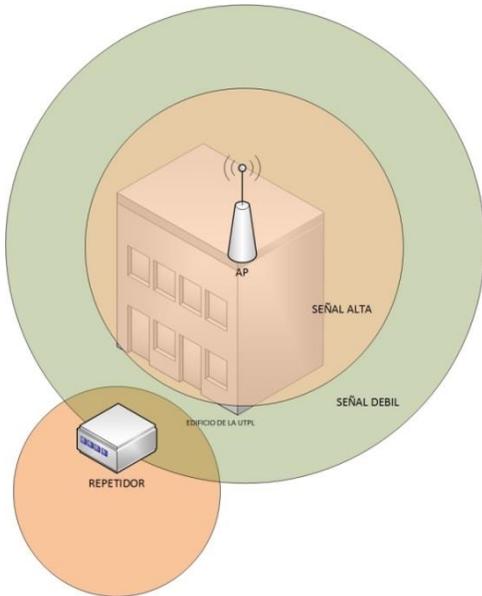
Como primer paso para la definición de los requerimientos de carga del sistema a desarrollar, fue necesario seleccionar cuidadosamente los equipos activos del Access Point (AP), en función de las características y prestaciones técnicas exigidas.

En el marco de este proyecto, se decidió que el AP proyectado, contempla la interacción de 2 equipos activos, uno para recepción de la señal de Internet, y, otro para broadcast de la señal en la zona de cobertura.

Para la selección de los equipos activos del AP, se acordó considerar su ambiente de trabajo, la prestación de servicios, el rango de cobertura, la potencia de consumo, y, el peso y geometría.

Considerando la disponibilidad de equipos en la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL, se sugirió no realizar la conexión mediante un radioenlace sino aprovechar los servicios de un solo equipo como repetidor.

El repetidor se colocará en una zona de baja cobertura del AP de la UTPL, y receptorá la señal débil para amplificarla y dar cobertura en una nueva zona (ver Fig.2).



**Fig. 2.** Función de un repetidor recepiendo señal débil de un AP. Elaborado por los autores utilizando Microsoft Visio 2013.

Al analizar las características técnicas de los repetidores disponibles, se optó por trabajar con el Access Point Tp-link Repetidor Tl-wa901nd Inalámbrico [8], cuyas principales características se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4**

Características técnicas del AP Tp-link Repetidor Tl-wa901nd [2].

Características generales	
<b>Interface</b>	Un puerto Ethernet 10/100 (RJ45)
<b>Suministro de Energía Externa</b>	12VDC / 1A
<b>Estándares Inalámbricos</b>	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
<b>Dimensiones</b>	174*120*28.8mm
<b>Tipo de Antena</b>	3 * desmontable Omnidireccional de 4dBi
Características inalámbricas	
<b>Frecuencia</b>	2.4-2.4835GHz
<b>Velocidad de Señal</b>	11n: Hasta 300Mbps (dinámico) 11g: hasta 54Mbps (dinámico) 11b: hasta 11Mbps (dinámico)
<b>Modos Inalámbricos</b>	AP / Multi-SSID / AP Cliente / Repetidor / Universal, Repetidor / Bridge + AP
<b>Funciones Inalámbricas</b>	Activar / Desactivar radio inalámbrica, WDS Bridge,
<b>Seguridad Inalámbrica</b>	64/128/152-bit WEP / WPA / WPA2, WPA-PSK / WPA2-PSK
<b>DHCP</b>	Servidor DHCP

### B. Dimensionamiento de la carga total requerida

El consumo de la carga diaria del AP esta dado de acuerdo al número de horas en las que se encontrará funcionando.

El consumo de energía en el AP, se calcula entonces a través de la ecuación (1):

$$E = P * t * k \quad (1)$$

En dónde,

- $E_{cc}$ , es el consumo de energía en el AP, Wh/día
- $P$ , es la potencia de consumo en el AP, W
- $t$ , es el tiempo de funcionamiento del AP en un día, h/día
- $k$ , es el factor de concurrencia

El factor de concurrencia en equipos digitales esta entre 0.5 y 0.9. En el marco de este proyecto, con la intención de prevenir eventualidades, se decidió utilizar un factor de concurrencia de 0.9. El tiempo de trabajo del AP se fijó 12 h por día.

$$E_{cc} = (12W) * 12 \frac{h}{día} * 0.9$$

$$E_{cc} = 129.6 Wh/día$$

Por cuanto la energía requerida se consume en formato de corriente continua (CC), no se espera mayores pérdidas de energía entre la batería y el AP, salvo las pérdidas en los conductores.

La carga diaria de corriente, se determina a través de la ecuación (2):

$$I_{CD} = \frac{E_{cc}}{T_{cc}} \quad (2)$$

En dónde,

- $I_{CD}$ , es la carga diaria de corriente, Ah
- $T_{CC}$ , es la tensión de CC del sistema, V

La tensión Tcc del sistema, es la tensión nominal en la cual trabajará el sistema. Para este caso, considerando que los equipos activos trabajan en 12V, se planteó que todo el sistema opera en este voltaje. Por lo tanto,

$$I_{CD} = \frac{129.6 Wh/día}{12 V}$$

$$I_{CD} = 10.8 Ah$$

La carga de corriente corregida, se calcula a través de la expresión (3):

$$I_{CC} = I_{CD} * fs \quad (3)$$

En dónde,

- $I_{CC}$ , es la carga de corriente corregida, Ah
- $fs$ , es el factor de seguridad, %

$$I_{CC} = 10.8 \text{ Ah} * 1.2$$

$$I_{CC} = 12.96 \text{ Ah}$$

En resumen, se requiere que el sistema sea capaz de proveer de una corriente de 12.96 Ah, bajo un voltaje de 12V.

### C. Dimensionamiento del bloque de baldosas piezoeléctricas

La energía total generada por una baldosa piezoeléctrica, se calcula a través de la ecuación (4):

$$E_t = N_t * E_i \quad (4)$$

En dónde,

- Et, es la energía total generada, J
- Nt, es el número total de pisadas, unidad
- Ei, es la energía generada interna por cada pisada, J

Considerando que el sistema se ubicará en un área abierta del campus, sujeta a variaciones del clima, y, que los usuarios no participarán en forma muy activa en la generación de piezoelectricidad, se planteó un escenario muy conservador, en el que cada hora será posible registrar al menos 40 pisadas sobre una baldosa.

La energía generada por cada pisada, depende del tipo de baldosa. Debido a su disponibilidad en la SEE del DCCE UTPL, en este proyecto se utilizarán baldosas piezoeléctricas tipo PowerLeap, capaces de generar una energía interna de 5 J [9]. Entonces:

$$E_t = 40 * 5J$$

$$E_t = 200J$$

A través de la expresión (5), se puede convertir J en Wh:

$$E_p = P_t * \frac{1Wh}{3600J} \quad (5)$$

$$E_p = 200J * \frac{1Wh}{3600J}$$

$$E_p = 0.056 \text{ Wh}$$

Al comparar la energía potencialmente generada por una baldosa piezoeléctrica, con la energía requerida por los equipos activos, se puede afirmar que no es posible abastecer de energía al sistema, sólo desde un bloque piezoeléctrico, por lo que se requiere de un sistema de provisión de arquitectura mixta, en el que se sugirió incluir un bloque fotovoltaico.

Para capturar la energía generada en las baldosas piezoeléctricas, se utilizará módulos cosechadores tipo EH300, conectados a la salida de cada una de las baldosas. Los cosechadores se conectarán en serie, para aumentar la tensión de salida.

Se propuso que el storage de energía en el sistema, se construirá sobre una batería. Los cosechadores entonces, aportarán la energía piezoeléctrica generada a través de un regulador de carga. La corriente máxima del regulador requerido, se estima mediante la expresión (6):

$$I_{\max\_R} = \frac{C_{\max\_I}}{T_{CCb}} \quad (6)$$

En dónde,

- $I_{\max\_R}$ , es la corriente máxima del regulador, A
- $C_{\max\_I}$ , es la capacidad máxima de las baldosas, W
- $T_{CCb}$ , es la tensión de CC nominal de la batería, V

$$I_{\max\_R} = \frac{0.058 \text{ W}}{12 \text{ V}}$$

$$I_{\max\_R} = 4.7 \text{ mA}$$

Considerando que este regulador estará conectado en paralelo al regulador de carga requerido para el bloque fotovoltaico propuesto, se requiere especial cuidado en la selección de componentes de igual impedancia interna. Para poder integrar el módulo piezoeléctrico al sistema se requiere de un regulador de carga que soporte la corriente máxima entregada por las baldosas, la cual es de 4,7mA, de acuerdo al mercado se puede encontrar reguladores de 1A como mínimo; el controlador a implementar es el J2 LED lighting SCLED-12V1A, cuyas principales características se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5**  
Características técnicas del controlador de carga  
J2 LED lighting. [12]

<b>Voltaje máximo</b>	12VDC
<b>Amperaje máximo</b>	1 A
<b>Máxima potencia desde el panel solar</b>	18 W

### D. Dimensionamiento del bloque fotovoltaico

La corriente pico del sistema que será provista por el bloque fotovoltaico, se determina por la ecuación (7):

$$I_{pico} = \frac{I_{CC}}{RS} \quad (7)$$

En dónde,

- $I_{pico}$ , es la corriente pico del sistema, A
- $RS$ , es la radiación solar,  $KWh/m^2$

Según el Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica [10], la ciudad de Loja registra una radiación solar promedio anual de 4,5 KWh/m<sup>2</sup>, por lo que:

$$I_{pico} = \frac{12.96 Ah}{4.5 KWh/m^2}$$

$$I_{pico} = 2.88 A$$

El número de módulos solares requeridos en una arreglo paralelo, se determina a través de la expresión (8):

$$A_{mod} = \frac{I_{pico}}{I_{lámina}} \quad (8)$$

En dónde,

$A_{mod}$ , es el arreglo de módulos solares requeridos, unid  
 $I_{lámina}$ , es la corriente pico del módulo, A

En función de la disponibilidad de equipos en la SEE del DCCE de la UTPL, es este proyecto se decidió emplear láminas solares tipo PowerFilm 28 W Rollable Solar. De acuerdo a la hoja de características, éste tipo de láminas tienen una corriente pico de 1,8 A, y, trabajan a 15V, por lo que:

$$A_{mod} = \frac{2.88}{1.8}$$

$$A_{mod} = 1.6 \approx 2$$

La tensión de corriente continua nominal, se calcula con la expresión (9):

$$T_{CCn} = \frac{T_{CC}}{T_{Ccl}} \quad (9)$$

En dónde,

$T_{CCn}$ , es la tensión de corriente continua nominal, V  
 $T_{Ccl}$ , es la tensión de corriente continua de la lámina, V

$$T_{CCn} = \frac{12}{15}$$

$$T_{CCn} = 0.8 V$$

El número total de módulos, se calcula a través de la expresión (10):

$$Nt_m = A_{mod} * T_{CCn} \quad (10)$$

En donde,

$Nt_m$ , es el número total de módulos, unid

$$Nt_m = 1.6 * 0.8$$

$$Nt_m = 1.28$$

$$Nt_m \approx 2$$

Para proveer la energía requerida y alimentar al sistema en 12V, se necesita de 2 láminas conectadas en paralelo. La tensión de corriente continua nominal es de 0.8V por lo que no se requiere de conexión en serie de láminas.

De la misma manera que en las baldosas piezoeléctricas, las láminas requieren de un regulador para integrarse al sistema. La corriente máxima del regulador se aproxima mediante la ecuación (11):

$$I_{max\_R} = \frac{C_{max\_l}}{T_{CCb}} \quad (11)$$

En dónde,

$I_{max\_R}$ , es la corriente máxima del regulador, A  
 $C_{max\_l}$ , es la capacidad máxima de las láminas, W  
 $T_{CCb}$ , es la tensión de CC nominal de la batería, V

$$I_{max\_R} = \frac{28 W}{12 V}$$

$$I_{max\_R} = 2.33 A$$

Se requiere de un regulador de carga, de 2.33 A, cuya existencia es limitada en el mercado, razón por la cual se podría optar por un regulador de mayor capacidad.

De acuerdo a la disponibilidad de equipos en la SEE del DCCE, se usará el regulador Sunforce de 7 A, que cumple con las características requeridas (ver Tabla 6).

**Tabla 6**  
 Características técnicas del controlador de carga Sunforce de 7A. [13]

<b>Cut-in Voltage</b>	13 V
<b>Cut-out Voltage</b>	14.2 V
<b>Max. Load</b>	105 W/ 7 A

#### E. Desde el cargador de pared

El módulo también será cargado desde la red eléctrica pública, mediante un adaptador de voltaje que convertirá la señal de 110V a 15V y 4A.

Este adaptador estará conectado al regulador Phoco CML10 que se encontró disponible en SEE del DCCE, que soporta como entrada 15 V y una corriente máxima de 10A (ver Tabla 7).

**Tabla 7**  
Características técnicas del controlador de carga  
Phocos CML10 [14]

<b>Máxima corriente de módulos</b>	10A
<b>Máxima corriente de consumo</b>	10A
<b>Voltaje nominal del sistema</b>	12/24V
<b>Autoconsumo</b>	<4mA
<b>Dimensiones</b>	80 x 100 x 32 mm
<b>Tipo de protección</b>	IP22

#### F. Dimensionamiento del bloque de storage de energía

La energía proporcionada por el bloque piezoeléctrico y el bloque fotovoltaico, se almacenará en un banco de baterías, cuya capacidad de almacenamiento está dada por la ecuación (12):

$$C_{NBB} = I_{CC} * D_r \quad (12)$$

En dónde,

$C_{NBB}$ , es la capacidad nominal del banco de baterías, Ah  
 $D_r$ , es el número de días de reserva, unid

En el marco de este proyecto, se acordó que la reserva de energía sea sólo para 1 día, por lo que:

$$C_{NBB} = 12.96 \text{ Ah} * 1$$

$$C_{NBB} = 12.96 \text{ Ah}$$

La capacidad corregida del banco de baterías, está dada por la ecuación (13):

$$C_{CBB} = \frac{C_{NBB}}{P_d} \quad (13)$$

En dónde,

$C_{CBB}$ , es la capacidad corregida del banco de baterías, Ah  
 $P_d$ , es la profundidad de descarga, %

**Tabla 8**  
Características técnicas de batería 6FM18-X AGM [4]

Características generales	
<b>Tecnología</b>	AGM - VRLA
<b>Voltaje nominal</b>	12VDC
<b>Capacidad</b>	18Ah
<b>Vida útil</b>	10 años
<b>Dimensiones</b>	181*77*167mm
<b>Peso</b>	5.7 Kg
<b>Número de celdas</b>	6
<b>Método de carga: carga con voltaje constante (20°C)</b>	
<b>Voltaje</b>	14.4 -14.7 V
<b>Máxima corriente de carga</b>	5.1 A
<b>compensación de temperatura</b>	-30mV/°C
<b>Standby</b>	13.6 -13.8 V

La profundidad de descarga depende del tipo de batería a utilizar. De acuerdo a la disponibilidad de equipos en el DCCE de la UTPL, se usará la batería 6FM18-X AGM de 12V y 18Ah (ver Tabla 8), cuya profundidad de descarga es del 85%. Por lo tanto:

$$C_{CBB} = \frac{12.96 \text{ Ah}}{0.85}$$

$$C_{CBB} = 15.24 \text{ Ah}$$

Como la batería es de 18 Ah cumple con el requisito de carga.

#### G. Sobre el inversor

La energía requerida por la carga en el sistema es de 191.16 Wh/día. La potencia nominal del inversor debe ser al menos igual a la carga instalada más un 25% [11], así que la potencia del inversor debe ser de 240 W. De acuerdo a la disponibilidad de equipos en el DCCE de la UTPL, se usará el inversor tipo Avtec IN-300 de 300 W (ver Tabla 9).

**Tabla 9**  
Características del Inversor Avtec IN-300. [15]

<b>Voltaje de entrada</b>	12 VDC/ 29 <sup>a</sup>
<b>Rango de voltaje de entrada</b>	10 – 16 VDC
<b>Voltaje de salida</b>	115 VAC / 60Hz
<b>Potencia máxima</b>	300 Watts
<b>Dimensiones</b>	80 x 100 x 32 mm
<b>Fusible interno</b>	40 A
<b>Conexión de salida</b>	2 tomas Nema 5-15 R

**Fig. 10.** Inversor Avtec IN-300. Disponible en: <http://www.datastore.com.ve/inversor-portatil-avtek-300w-c-pt-usb-in-300-avtek>

## IV. ESQUEMAS DEL MÓDULO

### A. Arquitectura, diagrama de bloques y esquema eléctrico del módulo.

La arquitectura final del módulo se muestra en la Fig.3. Los transductores de energía (baldosas piezoeléctricas, láminas solares, y cargador de pared) se conectan al esquema a través de un conmutador. El conmutador tiene dos estados. En el primero, se carga la batería desde la red pública, mientras permanece desactivada la entrada de energía desde las láminas solares y las baldosas piezoeléctricas. En el segundo estado, la batería se carga desde las láminas solares y las baldosas piezoeléctricas.

La batería se conecta al inversor, que provee de AC para la alimentación del repetidor Tp-link. La Fig.4 muestra el esquema de conexión de los componentes del módulo, mientras que la Fig.5 muestra el diagrama eléctrico final

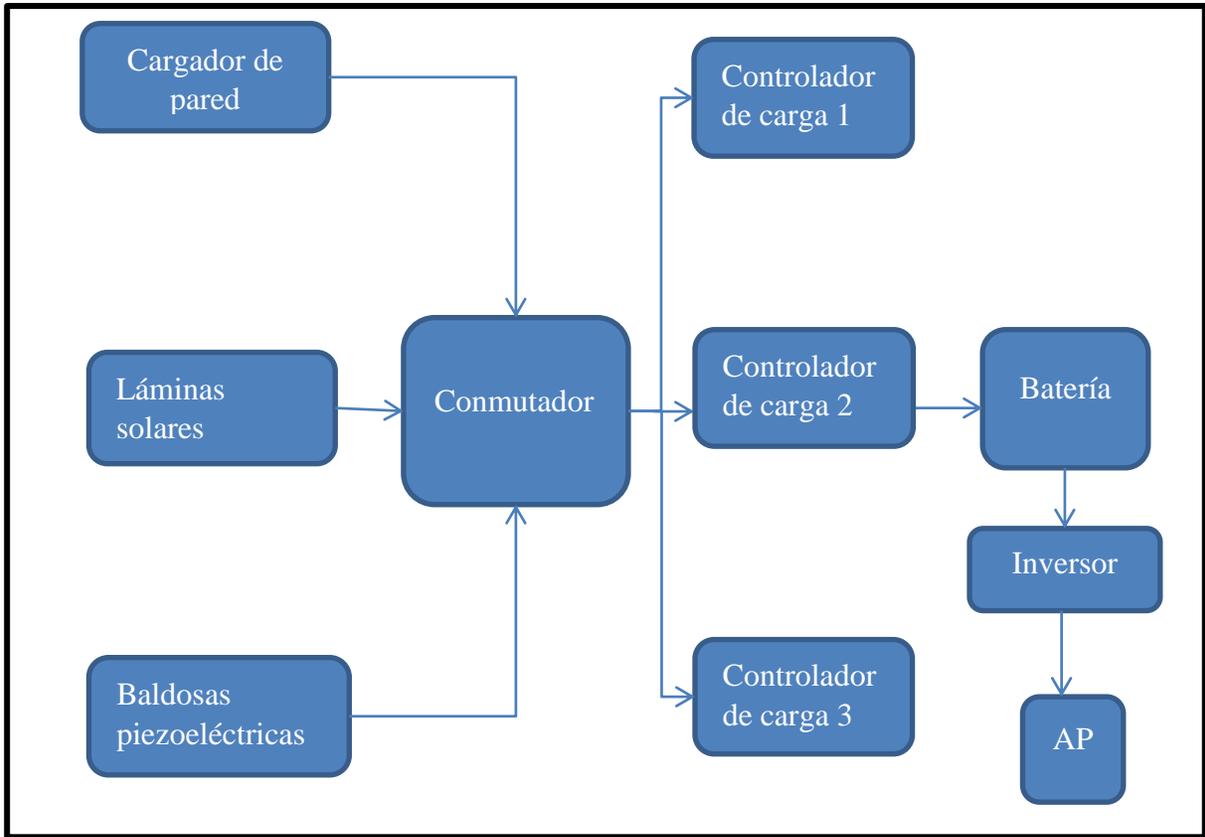


Fig. 3. Arquitectura del módulo. Elaborado por los autores.

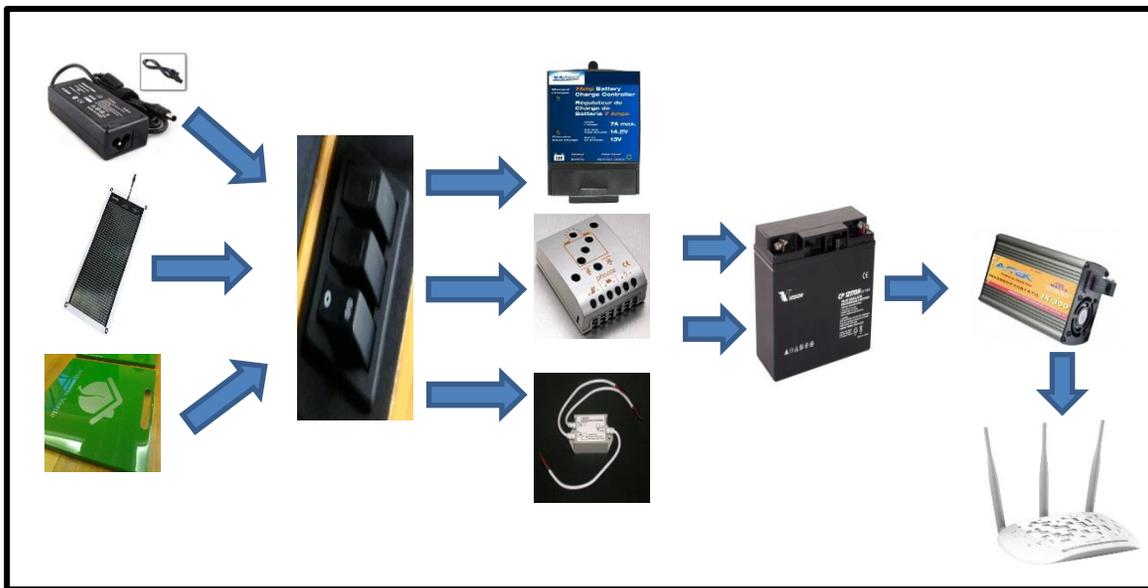
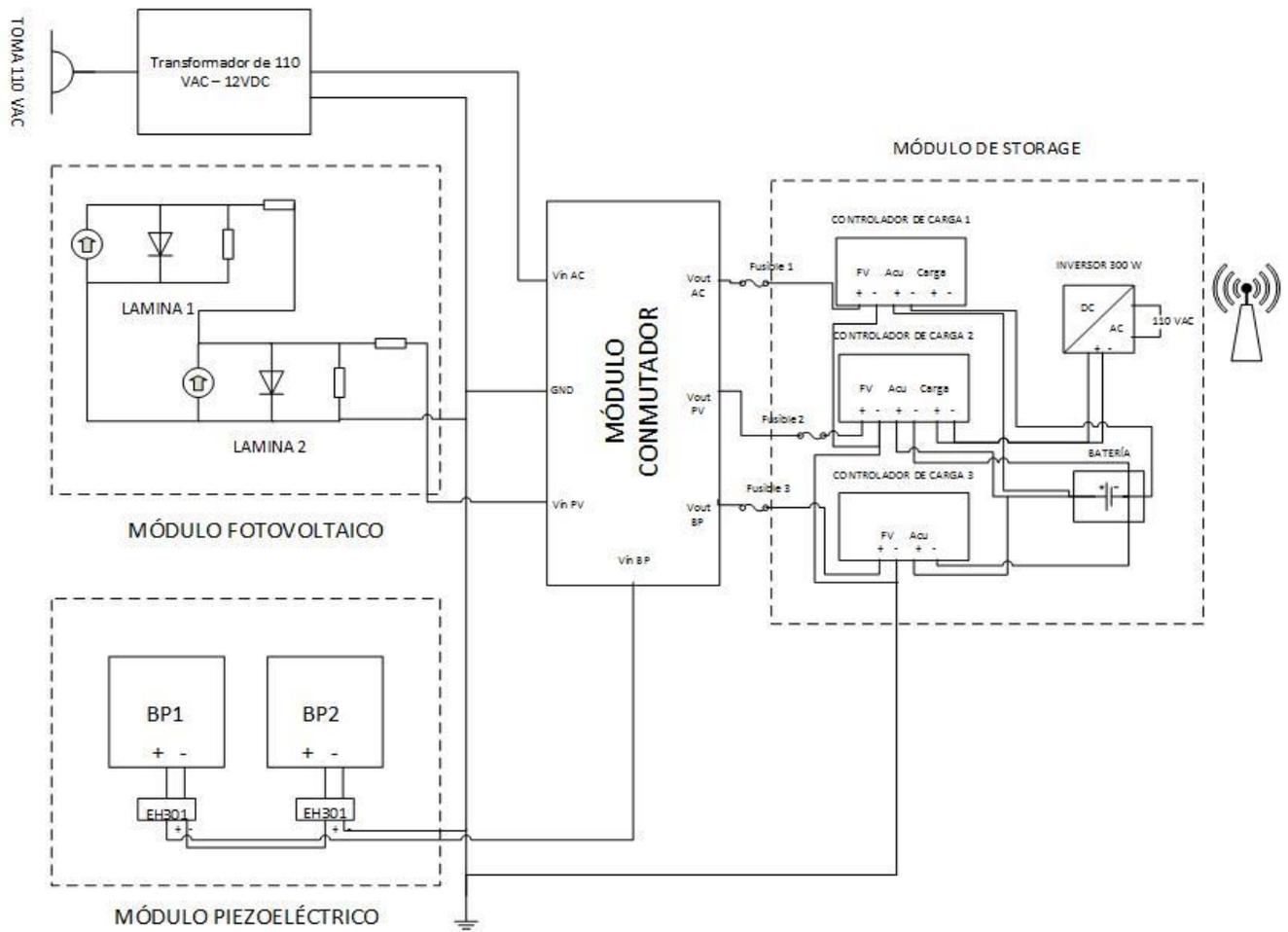


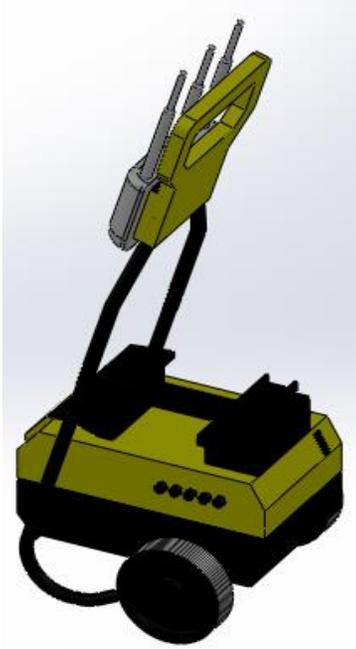
Fig. 4. Diagrama del módulo. Elaborado por los autores.



**Fig. 5.** Arquitectura general de las conexiones del módulo híbrido fotovoltaico y piezoeléctrico. Elaborado por los autores software Microsoft Visio 2010.

### B. Esquema mecánico

Los componentes del módulo se distribuyeron en la carcasa de una antigua hidrolavadora, de acuerdo a las adaptaciones mostradas en la Fig. 6.



**Fig. 6.** Vista en 3D del módulo a implementar. Elaborado por los autores

### V. FABRICACIÓN DEL MÓDULO

El proceso de implementación del módulo se muestra en las Fig.7 a la 14.



**Fig. 7.** Vista frontal y posterior de la carcasa a reutilizar. Fotografía de los autores



**Fig. 8.** Ubicación de controladores de carga y del cosechador en el cuerpo del equipo reutilizado. Fotografía de los autores



**Fig. 9.** Ubicación de las protecciones en el exterior del cuerpo. Fotografía de los autores



**Fig. 10.** Ubicación de las bahías en el exterior del cuerpo. Fotografía de los autores



**Fig. 11.** Ubicación de la batería y del inversor en la base del cuerpo. Fotografía de los autores



**Fig. 12.** Ubicación de la interface del inversor en el cuerpo. Fotografía de los autores



**Fig. 13.** Sujeción del AP al módulo. Fotografía de los autores



**Fig. 14.** Módulo de provisión de energía con todos los componentes acoplados Fotografía de los autores

## VI. BREVE DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MÓDULO IMPLEMENTADO

La Tabla 10 resume las características más importantes del módulo diseñado e implementado.

**Tabla 10**  
Características técnicas del módulo diseñado e implementado.  
Diseño de los autores

Equipamientos	Características
Controlador de carga (baldosas PE)	1A / 12V
Controlador de carga (láminas solares)	7A / 14V
Controlador de carga (cargador de pared)	10A / 15V
Cosechador de energía EH300	5V
Batería	18Ah / 12V
Inversor	300 W
Repetidor	1A / 12V
Cargador de pared	In: 120V / Out: 4.8A - 15V

El módulo implementado se provee de energía desde un almacén de posibilidades: desde dos baldosas piezoeléctricas, desde dos láminas solares, o, desde un cargador de pared (Fig. 15).

La fuente de alimentación de energía al módulo, se selecciona a través de 3 interruptores individualizados (Fig. 16). Al aire libre, se activan los interruptores 1 y 2, permitiendo que el módulo se alimente de láminas solares y baldosas piezoeléctricas. Si el módulo se encuentra dentro de un edificio, con acceso a la red eléctrica convencional, este puede ser alimentado desde un tomacorriente de 110 VAC, activando el interruptor 3. Con el ánimo de evitar sobrecargas en el módulo, se recomienda no activar los 3 interruptores simultáneamente.



**Fig. 15.** Bahías para la conexión del módulo a láminas solares y baldosas piezoeléctricas. Fotografía de los autores.



**Fig. 16.** Selección de la fuente de alimentación al módulo. Fotografía de los autores

Todas las bahías están protegidas por fusibles (Fig. 17).



**Fig. 17.** Fusibles de protección a los equipos. Fotografía de los autores

El módulo tiene 2 bahías de salida, en forma de tomacorrientes de AC, activadas a través de un interruptor. Una toma se utiliza para alimentar al repetidor, mientras que la otra es de reserva (Fig. 18).



**Fig. 18.** Bahías de salida del módulo. Fotografía de los autores

## VII. PRUEBAS DE DESEMPEÑO DEL MÓDULO IMPLEMENTADO

Las pruebas para evaluar el desempeño del módulo se dividieron en dos dominios: carga/consumo de energía, y, cobertura de acceso a internet.

### C. Carga/consumo de energía en el módulo

Para analizar el desempeño energético del módulo, se evaluó el proceso de carga de la batería (desde las láminas solares, desde las baldosas piezoeléctricas, y, desde la red pública de abastecimiento eléctrico), y, la demanda de potencia del repetidor durante su operación.

Las pruebas se realizaron al aire libre, entre las 10h30 y las 12h00 del día jueves 23 de enero de 2014. El módulo fue ubicado entre el edificio exUPSI y la capilla del campus.

### Carga del módulo desde las láminas solares

En esta prueba, se conectó una lámina solar al módulo. La lámina fue orientada en dirección oeste. La verificación de funcionamiento de la lámina, mostró que esta entregaba en sus bornes 20 VCD. Con el módulo conectado, se pudo verificar que luego del controlador de carga, el voltaje era de 15 VCD, con un amperaje medido de 1A (ver Fig.19). Se confirmó entonces que el módulo sí puede recibir un aporte de energía fotovoltaica, si las condiciones climáticas lo permiten.



**Fig. 19.** Prueba de carga del módulo desde una lámina solar. Fotografía de los autores.

### **Carga del módulo desde las baldosas piezoeléctricas**

Las baldosas piezoeléctricas se conectaron al módulo a través de un cosechador de energía tipo EH300 (ver Fig.20). El cosechador se cargó a su voltaje de salida en aproximadamente 8 minutos, luego de lo cual empezó a enviar energía hacia la batería del módulo. Durante la operación, mantuvo un voltaje de sólo 4 V. En este sentido, se confirmó la hipótesis formulada en la fase de diseño, sobre el hecho de que la tecnología piezoeléctrica disponible para este proyecto, no es capaz por si sola de alimentar al módulo.



**Fig. 20.** Prueba de carga del módulo desde una baldosa piezoeléctrica. Fotografía de los autores

### **Carga del módulo desde la red pública**

En este modo de operación, se conectó el módulo a la red eléctrica convencional. A la salida del controlador de carga, se registró un voltaje de 14,4V y una corriente de 4A.

### **Demanda de potencia del repetidor**

La hoja técnica del repetidor utilizado en este proyecto, refiere que este opera a 12VDC, con un amperaje nominal de 1A [8], por lo que se espera que la batería del módulo, totalmente cargada, con una capacidad de 12 Ah, pueda sostener el funcionamiento del repetidor al menos durante 14 horas.

Sin embargo, las pruebas de campo mostraron que durante la operación del repetidor, la conexión de usuarios a Internet aumentó la corriente en el equipo por lo que se espera un menor tiempo de respaldo.

#### *D. Cobertura de acceso a Internet*

Para determinar el área de cobertura, se configuró el access point AP del módulo en modo repetidor, y, se lo conectó a una red existente en el campus, cuyo AP está ubicado a menos de 15 metros del módulo. La nueva red configurada, se identificó con el SSID de MODULO MOVIL.

El área de cobertura se estableció con ayuda del software Ekahau Heatmapper, de distribución gratuita, que permite obtener un “mapa de color” de una red WIFI dada, de acuerdo a la intensidad de la señal (ver Tabla 11). La Fig.41 muestra el mapa de color obtenido para la red MODULO MOVIL.

**Tabla 11**

Correspondencia entre la intensidad de señal y el color en el mapa generado por Ekahau Heatmapper. Diseño de los autores

Intensidad en dBm	Color
-56 a -48	Verde
-64 a -56	Amarillo
-72 a -64	Naranja
-80 a -72	Rojo

Los resultados obtenidos mostraron que el módulo ofrece acceso a Internet de buenas prestaciones. Considerando la topología del campus, en un área de 10 m<sup>2</sup> respecto al lugar de ubicación del AP, la señal tiene una intensidad entre -56 y -48 dBm. La calidad de señal permite conectarse al módulo incluso en un área de 30 m<sup>2</sup> respecto al punto de origen de la señal.

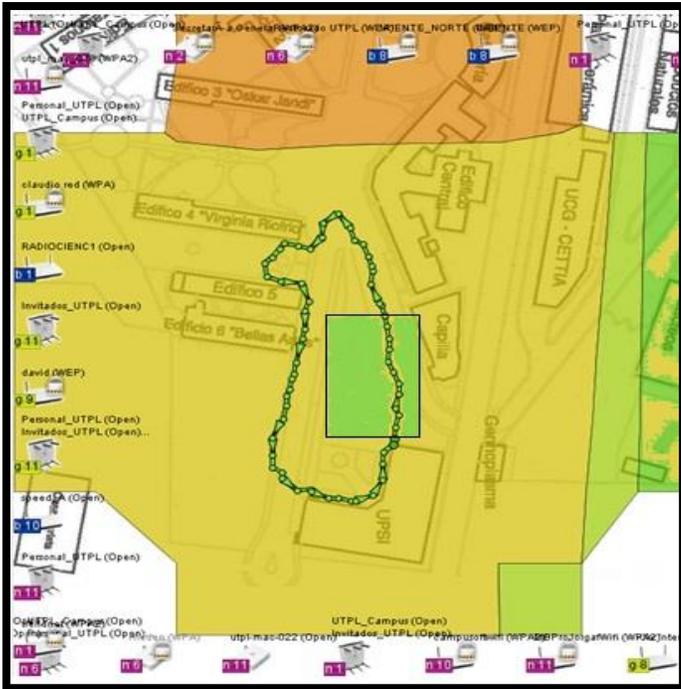


Fig. 21. Mapa de color de la cobertura de la red MODULO MOVIL obtenido en Ekahau Heatmapper.

## VIII. CONCLUSIONES

- En función de las fuentes renovables de energía accesibles en el campus de la UTPL, y, de la disponibilidad de dispositivos de harvesting en los laboratorios de la universidad, se decidió diseñar e implementar un módulo de provisión de energía a un sistema portable de acceso a Internet, basado en el aprovechamiento de energía piezoeléctrica y fotovoltaica.
- Las pruebas realizadas con las baldosas piezoeléctricas, mostraron que la conexión en serie entre ellas, es la de mejor desempeño, ya que las tensiones a la salida de los acondicionadores se suman. Aun así, la tensión generada por las baldosas no es suficiente para alimentar el sistema portable, razón por la cual la mayor parte de la energía será proporcionada por las láminas fotovoltaicas.
- Se decidió que el módulo de provisión de energía se sustente en una arquitectura de 3 bloques: el bloque de harvesting, el bloque de storage y el bloque de interface.
- El dimensionamiento de un sistema de provisión de energía, parte de la definición de los requerimientos de la carga. En este proyecto, como carga actúan 2 equipos activos, cuya selección se fundamenta en el cumplimiento de los requisitos para la recepción de la señal de Internet, y, su broadcast en la zona de cobertura.
- Por cuanto, la energía potencialmente generada por un arreglo de baldosas piezoeléctricas no es suficiente

para abastecer de energía completamente al sistema, se replanteó la arquitectura originalmente propuesta, incluyendo un nuevo bloque fotovoltaico.

- En la nueva arquitectura, la energía generada por el sistema híbrido se almacenará en un bloque de storage, montado sobre un banco de baterías.
- Se realizó una comparativa entre varios APs y se determinó que el AP TLP-WA901ND es el más adecuado para esta aplicación, ya que cumple con las especificaciones requeridas con respecto a cobertura, velocidad de transmisión, multiservicios y consumo.
- Para minimizar los gastos de fabricación del módulo, se tomó en cuenta dispositivos existentes en el DCCE de la UTPL, para ello se hizo uso de tres controladores de carga, un cosechador de energía, un inversor y una batería.
- Para el ensamblaje de todos los dispositivos, se reciclo la carcasa de una hidrolavadora en desuso, a la misma que se le hicieron varias modificaciones, como cortes y perforaciones para adecuarla a lo requerido dentro del proyecto. Una vez instalado todo dentro y fuera de la carcasa, se procedió a pintar y forrar la carcasa con vinil, para posteriormente ser etiquetada.
- Todos los dispositivos fueron asegurados con tornillos, arandelas y tuercas, en algunos casos se hizo uso de láminas de aluminio para una mayor seguridad.
- Las pruebas de carga y demanda de energía en el módulo, demostraron que el prototipo responde a las exigencias planteadas en la etapa de diseño.
- Las pruebas de cobertura, mostraron que la calidad de la señal es aceptable.

## IX. REFERENCIAS

- [1] Caracterización del desempeño de láminas solares [Online]: Disponible en: <<http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/6991/1/Castro%20Andrea.pdf>> [Consulta: Julio 2013]
- [2] Análisis de la operación y desempeño de un sistema de generación de energía con la utilización de baldosas piezoeléctricas. [Online]: Disponible en: <<http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/5883/1/Tesis%20de%20Merino%20Vicente.pdf>> [Consulta: Julio 2013]
- [3] Ramón Pallás Areny, Sensores y acondicionadores de señal, 4ta ed, Marcombo SA, 2003.
- [4] YUASA. "Batería para automoción". Corporación para la investigación energética. [Online]: Disponible en: <[http://www.yuasa-europe.com/ib/automotive/technical/all\\_you\\_need\\_to\\_know\\_about\\_batteries](http://www.yuasa-europe.com/ib/automotive/technical/all_you_need_to_know_about_batteries)> [Consulta julio 2013].
- [5] Piezo Systems, INC. "Piezoelectric Energy Harvesting Kit", [Online]. Disponible en: <<http://www.piezo.com/prodproto4EHkit.html>> [Consulta julio 2013]
- [6] Calculo del sistema de electrificación solar para cubrir la demanda de Iluminación en un barco turístico en el archipiélago de Galápagos [Online]: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17117/1/informe%20cycit%20final.pdf> [Consulta: Junio 2013]
- [7] Punto de acceso. [Online]. Disponible en: [Online]. Disponible en: <http://www.ordenadores-y-portatiles.com/punto-de-acceso.html> [Consulta julio de 2013].

- [8] TP-LINK The Real Choice. Punto de Acceso Inalámbrico N a 300Mbps. TL-WA901ND. [Online]: Disponible en:< <http://www.tp-link.com/ar/products/details/?model=TL-WA901ND>> [Consulta Octubre 2013].
- [9] Universidad Politécnica Salesiana Ecuador. “Análisis, evaluación técnica y económica para la transformación de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca en una Universidad energéticamente verde”. [Online]: Disponible en:< <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2914>> [Consulta Julio 2013].
- [10] CONECEL. “Atlas Solar del Ecuador”. Corporación para la investigación energética. [Online]: Disponible en:< [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf)> [Consulta Julio 2013].
- [11] Norma Ecuatoriana NEC-11, Capitulo 14, Energías Renovables, 06 de Abril del 2011. [Consulta julio 2013].
- [12] Ingeniería de detalle y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica a aplicaciones de camping, basado en el aprovechamiento de energía solar. Luis Morales, Vicente Quezada, Luis Riofrío, Jorge Jaramillo. [Online]. Disponible en:< <http://www.utpl.edu.ec/blogjorgeluisjaramillo/>>
- [13] Phocos. [Online]: Disponible en:< [http://www.phocos.com/es-ES/datasheet\\_cc\\_cml.html](http://www.phocos.com/es-ES/datasheet_cc_cml.html)>
- [14] Phocos. [Online]: Disponible en:< [http://www.phocos.com/es-ES/datasheet\\_cc\\_cml.html](http://www.phocos.com/es-ES/datasheet_cc_cml.html)>
- [15] Data Store Venezuela. Inversor Portatil Avtek 300W C/ Pto Usb IN-300. Disponible en:< <http://www.datastore.com.ve/inversor-portatil-avtek-300w-c-pto-usb-in-300-avtek>>