



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

## **ÁREA TÉCNICA**

**TITULACIÓN DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

Implementación de un sistema híbrido de provisión de energía para  
iluminación de una isla experimental en el campus UTPL

**TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN**

**AUTORES:**

Cueva Enríquez, Rodrigo

Guamán Obando, Alex Patricio

**DIRECTOR:**

Jaramillo Pacheco, Jorge Luis, Ing.

**LOJA – ECUADOR**

2013

**CERTIFICACIÓN**

Ingeniero.

Jorge Luis Jaramillo Pacheco.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Que el presente trabajo, denominado: "Implementación de un sistema híbrido de provisión de energía para iluminación de una isla experimental en el campus UTPL" realizado por los profesionales en formación: Cueva Enríquez Rodrigo, Guamán Obando Alex Patricio; 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, septiembre de 2013

f). . . . .

**DECLARACIÓN DE AUDITORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

“Nosotros. CUEVA ENRÍQUEZ RODRIGO, GUAMÁN OBANDO ALEX PATRICIO, declaramos ser autores del presente trabajo y eximamos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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”

-----  
Rodrigo Cueva Enríquez

C.I.: 1104047616

-----  
Alex Patricio Guamán Obando

C.I.:1104600042

**DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a Dios y a mi familia, ya que siempre he tenido el apoyo incondicional de su parte en lo que necesitaba, y con todo el afecto a mis padres, Manuel y Clara, ya que gracias a su apoyo, confianza y continuos consejos pude superar los obstáculos que se me presentaron en el transcurso de mis estudios, y, a todas aquellas personas que de alguna forma influyeron de una manera positiva en el proceso de formación de la persona que ahora soy.

**Alex**

Dedico este trabajo a Dios y a mis padres Victor y Doria, por todo el apoyo en todo este tiempo de estudio, a mis hermanos por todas las palabras de aliento y animos a seguir adelante, a mis amigos y aquellas personas que de alguna forma siempre me han llevado por el camino del bien.

**Rodrigo**

**AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por darnos la fuerza de voluntad y sabiduría, a nuestros padres por toda su confianza, apoyo, esfuerzo y consagración para que sigamos siempre con cabeza en alto todos nuestros estudios.

Nuestra gratitud al Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco por todo el apoyo brindado en el transcurso de este trabajo, y sus conocimientos que nos han ayudado a mejorar nuestros conocimientos.

En general, agradecemos a nuestros amigos y compañeros con los cuales hemos compartido momentos de felicidad, angustia y tristeza, y a su apoyo incondicional de gran utilidad en el desarrollo de nuestra tesis.

---

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUDITORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABLAS .....	XII
RESUMEN EJECUTIVO.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>5</b>
<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA FASE DE PREFACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA ISLA DEL CONOCIMIENTO PARA EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTP.</b> .....	<b>6</b>
1.1    Resultados obtenidos en la fase de análisis de prefactibilidad .....	6
1.1.1    Sobre las islas del conocimiento.....	6
1.1.2    Sobre la provisión de energía a las islas.....	7
1.1.3    Concepción arquitectónica para el diseño de la isla.....	9
1.1.4    Integración de los sistemas de provisión de energía en la isla.....	10
1.1.5    Dimensionamiento de los requerimientos de carga en la isla de descanso.....	12
1.1.6    Dimensionamiento de un sistema PV para provisión de energía a la isla de descanso.....	14
1.1.7    Presupuesto de inversión.....	18
1.2    Potenciales problemas detectados y definición de objetivos para los estudios de la fase de factibilidad.....	20

<b>CAPÍTULO II</b> .....	21
<b>OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE PROVISIÓN DE ENERGÍA A UNA ISLA EXPERIMENTAL PARA EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL</b> .....	22
2.1    Requerimientos planteados para la isla experimental.....	22
2.1.1    Diseño arquitectónico de la isla experimental. ....	22
2.1.2    Optimización del diseño del sistema de provisión de energía para la isla experimental. ....	24
2.1.3    Redimensionamiento de los componentes del sistema de provisión de energía. ....	28
 <b>CAPITULO III</b> .....	 30
<b>DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE PROVISIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA ILUMINACIÓN DE UNA ISLA EXPERIMENTAL EN EL CAMPUS UTPL</b> .....	31
3.1    Cálculo de la carga requerida para iluminación de la isla experimental.....	31
3.1.1    Cálculo del índice de local ( $K$ ). ....	31
3.1.2    Cálculo del coeficiente de utilización. ....	33
3.1.3    Coeficiente de mantenimiento ( $C_m$ ) o conservación de la instalación.....	35
3.1.4    Flujo luminoso total.....	36
3.1.5    Número de luminarias.....	37
3.1.6    Demanda diaria de energía para la iluminación de la isla. ....	38
3.2    Dimensionamiento de los equipos requeridos para el sistema de provisión de energía de la isla .....	39
3.2.1    Carga diaria de corriente. ....	39
3.2.2    Carga de corriente corregida. ....	40
3.2.3    Corriente pico del sistema. ....	40
3.2.4    Dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos.....	41
3.2.5    Dimensionamiento del banco de baterías. ....	43
3.2.6    Dimensionamiento del regulador de carga.....	46
3.2.7    Dimensionamiento del inversor.....	47

<b>CAPITULO IV</b> .....	48
<b>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE PROVISIÓN DE ENERGÍA PARA UNA ISLA EXPERIMENTAL UBICADA EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL</b> .....	49
4.1    Diseño y construcción del módulo de conmutación del sistema .....	50
4.1.1    Diseño del módulo de conmutación.....	50
4.1.2    Construcción del módulo de conmutación. ....	55
4.2    Instalación de los componentes del sistema híbrido.....	57
4.2.1    Módulos fotovoltaicos. ....	57
4.2.2    Cables. ....	58
4.2.3    Tablero de control.....	60
4.2.4    Tablero de distribución. ....	61
4.2.5    Conexión de los tableros a tierra. ....	62
4.2.6    Módulo de iluminación. ....	63
4.3    Cuantificación de la inversión realizada en la instalación .....	66
<b>CAPITULO V</b> .....	67
<b>EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA HÍBRIDO DE PROVISIÓN DE ENERGÍA PARA UNA ISLA EXPERIMENTAL UBICADA EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL</b> .....	68
5.1    Evaluación del desempeño del sistema .....	68
5.1.1    Metodología.....	68
5.1.2    Evaluación el desempeño del arreglo de láminas PV. ....	68
5.1.3    Desempeño del bloque de transferencia y de storage .....	78
CONCLUSIONES .....	79
RECOMENDACIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS.....	87
ANEXO A .....	88

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PARA EL TEMPORIZADOR ELABORADO EN MICRO C .....	88
ANEXO B .....	90
ESQUEME GENERAL DE CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA HÍBRIDO PARA LA ILUMINACIÓN DE LA ISLA .....	90
ANEXO C .....	92
PAPER: IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA HÍBRIDO DE PROVISIÓN DE ENERGÍA PARA ILUMINACIÓN DE UNA ISLA EXPERIMENTAL EN EL CAMPUS UTPL .....	92

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1 Isla de estancia .....	7
Fig. 1.2 Enredadera de energía solar. Solar IVY .....	8
Fig. 1.3 Láminas fotovoltaicas de película delgada (thin-film) .....	8
Fig. 1.4 Emplazamiento de la propuesta arquitectónica para un grupo de islas de descanso. Departamento de Arquitectura y Arte UTPL .....	9
Fig. 1.5 Vista frontal de la isla de descanso propuesta (diseño preliminar). Departamento de Arquitectura y Arte UTPL .....	10
Fig. 1.6 Vista en corte de la estructura de la isla. Departamento de Arquitectura y Arte UTPL .....	11
Fig. 1.7 Diagrama de bloques del sistema PV rediseñado. ....	14
Fig. 2.1 Estructura metálica construida para la isla experimental.....	23
Fig. 2.2 Arquitectura del sistema híbrido de provisión de energía.....	25
Fig. 2.3 Diagrama de bloques del sistema híbrido de provisión de energía.....	29
Fig. 3.1 Vista frontal de la estructura de la isla experimental.....	33
Fig. 4.1 Flujograma de la lógica de operación propuesta para el módulo de conmutación del sistema híbrido.....	51
Fig. 4.2 Esquema del circuito detector de nivel en las baterías.....	52
Fig. 4.3 Simulación del funcionamiento del circuito detector de nivel, utilizando Livewire a) batería descargada, b) batería cargada. ....	53
Fig. 4.4 Esquema del circuito de temporización y conmutación.. ....	54
Fig. 4.5 Esquema general del módulo de módulo de conmutación, utilizando Livewire. .....	55
Fig. 4.6 Diseño de la placa del módulo de conmutación, utilizando PCB Wizard .....	56
Fig. 4.7 Módulo de conmutación construido para este proyecto.....	56
Fig. 4.8 Instalación de las láminas solares sobre la cubierta de la isla experimental... 57	

Fig. 4.9 Fijación de las láminas solares a la cubierta, utilizando cáncamos. ....	58
Fig. 4.10 Esquema eléctrico del tablero de distribución a implementar. ....	60
Fig. 4.11 Panorámica del tablero de distribución implementado. ....	61
Fig. 4.12 Esquema eléctrico del tablero de distribución y protección. ....	62
Fig. 4.13 Conexión a tierra del tablero de distribución.....	63
Fig. 4.14 Sistema de iluminación instalado. ....	64
Fig. 4.15 Esquema de conexiones del módulo de iluminación. ....	64
Fig. 4.16 Esquema general de las conexiones eléctricas del sistema híbrido de provisión de energía a la isla experimental. ....	65
Fig. 5.1 Esquema de conexión de instrumentos de medición: amperímetro (A), voltímetro (V) .....	69
Fig. 5. 2 Curva esperada de potencia en la salida del arreglo de láminas solares. ....	70
Fig. 5.3 Voltaje en los bornes del arreglo de láminas PV .....	71
Fig. 5.4 Corriente CD del arreglo de láminas. ....	71
Fig. 5.5 Potencia proporcionada por el arreglo de láminas a la carga. ....	72
Fig. 5.6 Curvas de voltaje, corriente, y, potencia del arreglo de las láminas .....	73
Fig. 5.7 Curva de la potencia proporcionada y esperada .....	74
Fig. 5.8 Gráfica de radiación solar media en la estación Jipiro Alto del Departamento de geología y Minas e Ingeniería Civil de la UTPL, el día 4 de julio de 2013 .....	77
Fig. 5.9 Relación entre radiación solar y potencia .....	78

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Demanda de energía para iluminación de la isla .....	12
Tabla 1.2 Consumo de energía para la isla de descanso.....	16
Tabla 1.3 Costos de equipos del sistema híbrido de provisión de energía para las islas de descanso .....	18
Tabla 1.4 Costos totales de implementación del sistema híbrido de provisión de energía para las islas de descanso.....	19
Tabla 2.1 Geometría de la estructura metálica empleada en la isla experimental.....	23
Tabla 2.2. Características de lámina PowerFilm.....	25
Tabla 2.3 Características de batería Ritar RA12-40.....	26
Tabla 2.4 Características de controlador de carga Phocos CML10.....	26
Tabla 2.5 Características del inversor Avtec IN-300 .....	27
Tabla 2.6 Especificaciones de lámpara PowerLed E27.....	28
Tabla 2.7 Especificaciones de sensor deko SR017.....	28
Tabla 3.1 Coeficientes de reflexión .....	34
Tabla 3.2 Datos de corrección de Cu, en dependencia del índice del local.....	34
Tabla 3.3 Coeficiente de mantenimiento anual en función de la polución ambiental ...	35
Tabla 3.4 Potencia total requerida para la iluminación de la isla experimental.....	38
Tabla 3.5 Parámetros de los equipos a utilizar para el sistema de provisión de energía de la isla experimental.....	47
Tabla 4.1 Caída de tensión en cables de cobre, en función del diámetro, la intensidad de corriente, y, la longitud, para VDC.....	59
Tabla 4.2 Cuantificación de la inversión realizada en la instalación del sistema híbrido de energía para la isla experimental.....	66
Tabla 5.1 Datos de potencia .....	75

## RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo se describe; el diseño de una isla experimental del conocimiento (isla de descanso, isla de estancia, o, isla del conocimiento, es un espacio semiabierto con diferentes formas y geométricas representativas, las cuales dan como resultado una estancia múltiple), desde un punto de vista de optimización y eficiencia de recursos, en el que, se presenta una opción económica y solvente en su diseño, el proceso de dimensionamiento de los equipos a emplear en el sistema de provisión de energía fotovoltaica, y, la instalación de un sistema híbrido de provisión de energía para la iluminación de la isla a ubicar en el Campus San Cayetano de la UTPL.

Se muestra el diseño del módulo electrónico de conmutación automática entre los dos módulos de abastecimiento, en función del nivel de energía disponible en el módulo de storage (banco de baterías), y, se presentan los resultados de la evaluación del desempeño del sistema implementado.

**PALABRAS CLAVES:** isla experimental, isla del conocimiento, sistema fotovoltaico, sistemas híbridos de provisión de energía.

**ABSTRACT**

In this paper we describe, the design of an experimental isle of knowledge (resort isle, isle of residence, or, isle of knowledge, is a semi-open space with different geometric shapes and representative, which result in multiple stay), from a viewpoint of resource optimization and efficiency, which is presented an economical and solvent in design, the sizing process equipment used in the delivery system photovoltaic, and installing a hybrid system providing power for lighting of the island to be located in the San Cayetano UTPL Campus.

It shows the design of the electronic module automatically switching between the two supply modules, depending on the level of energy available in the storage module (battery bank), and presents the results of the performance evaluation of the implemented system.

**KEYWORDS:** experimental island, island of knowledge, photovoltaic systems, hybrid energy supply.

## INTRODUCCIÓN

Entre los proyectos de harvesting de energía 2012, priorizados por la Dirección de Infraestructura DI de la UTPL, con el apoyo del Departamento de Arquitectura y Artes DAA, y, del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE, se incluyó el diseño e implementación de una isla de descanso que permita la “recuperación” de espacios en el campus.

Como resultado del trabajo multidisciplinario, se acuñó el concepto de isla del conocimiento, para definir a una estancia múltiple en la que se desarrollan diversas actividades, y, que se provee (mediante un sistema híbrido de generación) de energía suficiente para alimentar equipos electrónicos portables de bajo consumo y activar sistemas eficientes de iluminación.

Como parte de una serie de iniciativas de I+D+D, para la incorporación de energía de fuentes no convencionales a la matriz energética del campus San Cayetano de la UTPL, en la ciudad de Loja, impulsadas por la Sección de Energía y Electrónica del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, se decidió diseñar e implementar un sistema híbrido (solar fotovoltaico – red eléctrica convencional) para provisión de energía a una isla experimental del conocimiento.

Con este argumento, como proyecto de fin de titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, los autores hemos planteado montar una isla experimental del conocimiento en el campus de la UTPL, en la que se optimice el diseño del sistema de provisión de energía, y, en lo posible se fabrique el equipamiento electrónico requerido.

Este trabajo se compone de cinco capítulos. En el primer capítulo, se describen los resultados obtenidos en la fase de análisis de prefactibilidad, se explican los posibles problemas a enfrentar en la fase de implementación de la iniciativa, y, se plantean objetivos concretos para la fase de análisis de factibilidad.

En el segundo capítulo, se describen los principales requerimientos planteados para la isla experimental.

En el tercer capítulo, se describe el dimensionamiento y preselección de los equipos a utilizar en el sistema de provisión de energía fotovoltaica, para la iluminación de una isla experimental a implementar en el Campus San Cayetano de la UTPL.

En el cuarto capítulo, se describe el diseño y construcción de un módulo electrónico para transferir la alimentación de la carga, en forma automática, entre los módulos de provisión, y, la implementación de un sistema híbrido para provisión de energía a la isla experimental.

En el quinto capítulo, se describe los resultados de la evaluación del desempeño del sistema implementado, sobre la base del funcionamiento de los módulos fotovoltaicos (láminas PV), y, del bloque de transferencia (para alimentar la carga desde las láminas PV o desde la red eléctrica convencional).

**CAPÍTULO I**

## **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA FASE DE PREFACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA ISLA DEL CONOCIMIENTO PARA EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL**

### **1.1 Resultados obtenidos en la fase de análisis de prefactibilidad**

Para el análisis de la prefactibilidad de diseñar e implementar islas del conocimiento en el campus de la UTPL, se conformó un equipo de trabajo con integrantes del DCCE y del DAA, bajo responsabilidad de Priscila Fierro, en calidad de tesista del programa de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones.

#### **1.1.1 Sobre las islas del conocimiento.**

Una isla de descanso, isla de estancia, o, isla del conocimiento, es un espacio semiabierto con diferentes formas y geometrías representativas, las cuales dan como resultado una estancia múltiple. Este tipo de espacios proporcionan libertad, tanto visual como de movilidad [1].

En general, una isla provee sombra, protege de la lluvia y del Sol. En ella, se desarrollan actividades para la música, el descanso, la contemplación, y, la integración social. Las islas son espacios de reunión, lectura, trabajo, etc. (Ver Fig.1.1)



Fig. 1.1 Isla de estancia [1]

Fuente: "Ideas jóvenes". Islas de estancia universitarias. Escuela de Arquitectura. UTPL

### **1.1.2 Sobre la provisión de energía a las islas.**

En la fase de prefactibilidad, se propuso lograr que la tecnología de aprovisionamiento de energía se incluyera en forma integral en el diseño arquitectónico de la isla. Con este objetivo, se estudió distintas tecnologías de provisión de energía existentes en el mercado.

#### **1.1.2.1 Módulos fotovoltaicos de impacto visual reducido.**

La utilización de este tipo de tecnología, busca minimizar el impacto visual en la estética arquitectónica de la isla.

Como ejemplo de este tipo de tecnología, se citó al sistema Solar Ivy, que luce como hojas flexibles (disponibles en diversos colores) instaladas sobre una malla metálica de cable de acero inoxidable. Sobre la malla, los módulos pueden ser dispuestos con la densidad y distribución requerida [2] (Ver Fig. 1.2). Cada "hoja fotovoltaica" pesa unos 250 g., y, produce entre 0,5 y 4 Wh.



Fig. 1.2 Enredadera de energía solar. Solar IVY [3]

Fuente: <http://nadanoslibradeescorpio.blogspot.com/2011/09/solar-ivy-enredadera-de-energia-solar.html>

### **1.1.2.2 Módulos fotovoltaicos de película delgada CIGS.**

El uso de módulos fotovoltaicos para aprovechar la energía del Sol, presenta dos problemas a los usuarios: el impacto visual, y, la carga estructural en los techos. Una opción interesante para minimizar estos problemas lo constituyen las células fotovoltaicas de película delgada, basadas en micro estructuras CIGS (Cobre Indio Galio Selenio), incrustadas en soportes flexibles y ligeros [3], [4]. Los paneles CIGS son una solución liviana, resistente a los vientos, y, muy económica [5].

Los módulos CIGS son aptos para el uso en tejados, fachadas, ventanas, teléfonos móviles, ordenadores portátiles, coches, etc. (Ver Fig.1.3).



Fig. 1.3 Láminas fotovoltaicas de película delgada (thin-film) [6]

Fuente: [http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto\\_Simec\\_Chile.pdf?1287789602](http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto_Simec_Chile.pdf?1287789602)

### 1.1.3 Concepción arquitectónica para el diseño de la isla.

El diseño conceptual de la isla, se basó en la importancia del uso de ellas como parte de la gestión sustentable de un campus universitario.

Considerando la energía requerida para proveer a la isla, se propuso el uso de un sistema híbrido, en el que tanto los equipos y dispositivos del sistema híbrido de generación, como las instalaciones eléctricas, formarían parte integral del diseño arquitectónico.

Desde la DI de la UTPL, se solicitó considerar como potencial emplazamiento de la propuesta, el área contigua al monumento conocido como La Cruz, comprendida entre el Octógono y el edificio de aulas 3 (ver Fig. 1.4) [7].

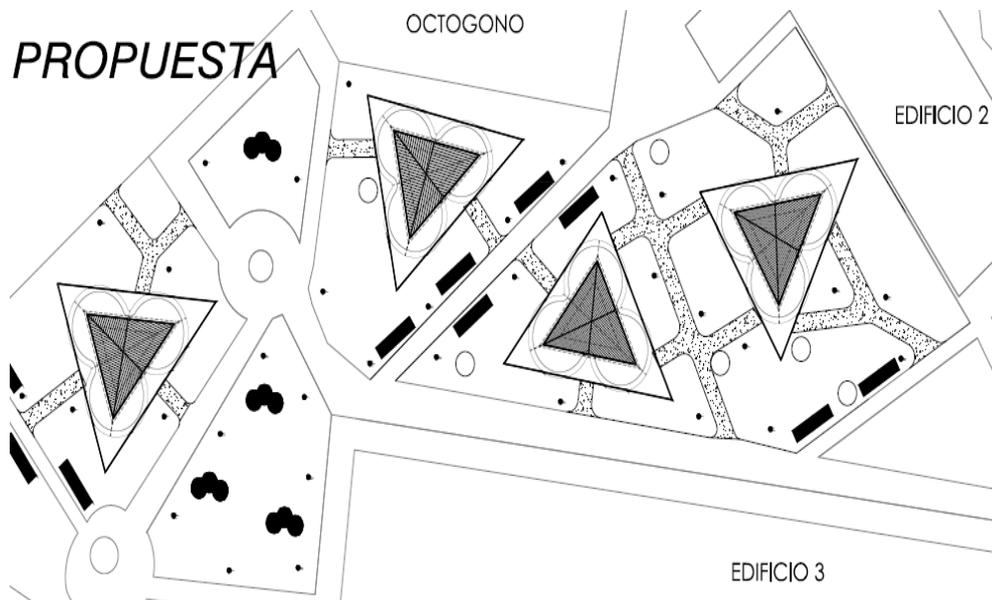


Fig. 1.4 Emplazamiento de la propuesta arquitectónica para un grupo de islas de descanso. Departamento de Arquitectura y Arte UTPL [7]

Fuente: M. Delgado; E. Córdova. "Diseño de Tipo Isla del Conocimiento". Departamento de Arquitectura y Arte. Universidad Técnica Particular de Loja.

EL DAA UTPL propuso entonces una isla con cubierta triangular, en la que se alojan tres estancias, con mobiliario circular y compacto, que concuerda con la idea de agrupación propuesta (ver Fig. 1.5).

La forma triangular de la cubierta, a más de ser un atractivo, representa un enlace entre sus elementos. La forma triangular se utiliza para aumentar la rigidez, soportar grandes pesos, y, cubrir áreas extensas sin interrumpir con columnas en medio [10].

El mobiliario de la isla está representado por tres mesas de forma circular, y, tres bancas de soporte metálico, todas acopladas en un conjunto compacto. La forma circular del mobiliario representa unión, universalidad.



Fig. 1.5 Vista frontal de la isla de descanso propuesta (diseño preliminar). Departamento de Arquitectura y Arte UTPL [7]

Fuente: M. Delgado; E. Córdova. "Diseño de Tipo Isla del Conocimiento". Departamento de Arquitectura y Arte. Universidad Técnica Particular de Loja.

#### **1.1.4 Integración de los sistemas de provisión de energía en la isla.**

La Fig. 1.6 muestra un corte transversal de la estructura propuesta para la isla. En la cubierta, ubicada a una altura de 3.16 m, se especifica la ubicación de los módulos

fotovoltaicos tipo CIGS, y, (un tubo cuadrado de 2 mm, y, una lata protectora de 0.0156 mm de espesor) para las instalaciones eléctricas. En forma conjunta con el grupo de energía del DCCE, se determinó también la ubicación de las luminarias, potencialmente de tecnología LED.

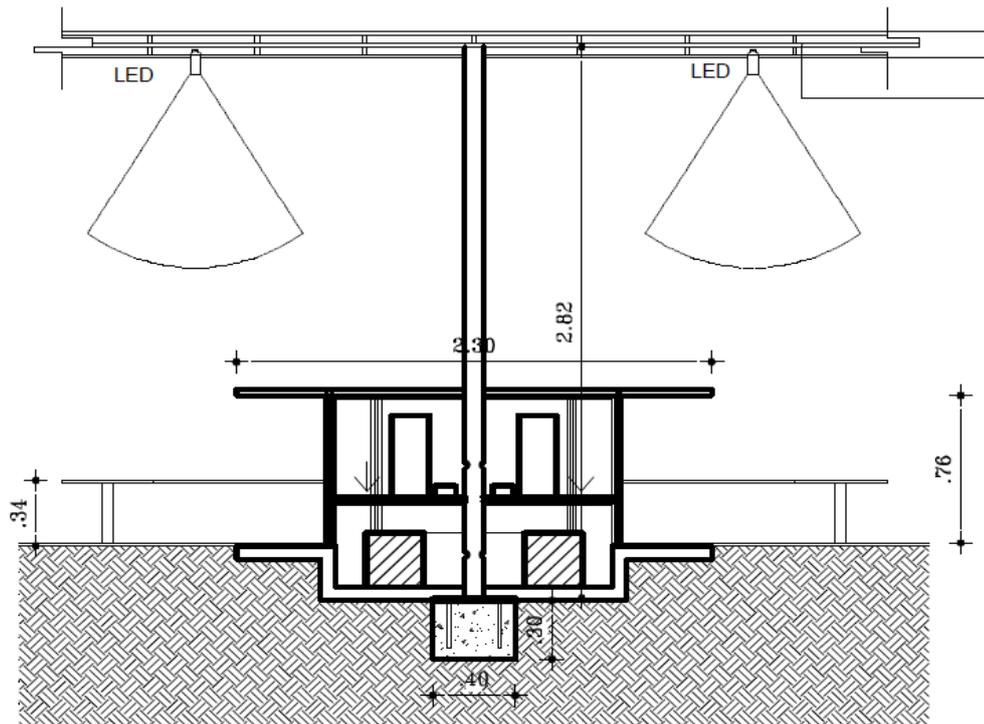


Fig. 1.6 Vista en corte de la estructura de la isla. Departamento de Arquitectura y Arte UTPL [7]

Fuente: M. Delgado; E. Córdova. "Diseño de Tipo Isla del Conocimiento". Departamento de Arquitectura y Arte. Universidad Técnica Particular de Loja.

En la Fig. 1.6, también se muestra que las mesas (de 2,30 m de diámetro y 0,76 m de altura), tienen divisiones interiores con espacio suficiente para albergar cinco baterías solares, dos inversores, y dos controladores de carga. Existen dos puertas corredizas de 44° de apertura a ambos lados, que facilitan el mantenimiento de los equipos. Se prevé también ducterías subterráneas para cableado eléctrico a 0,30 m de profundidad.

### 1.1.5 Dimensionamiento de los requerimientos de carga en la isla de descanso.

#### 1.1.5.1 Requerimientos de carga para iluminación.

Los parámetros luminotécnicos requeridos en la isla, se determinaron de acuerdo al método de flujo total para alumbrados exteriores [8], y, al método de los lúmenes o factor de utilitancia [9]. Según estos métodos para alumbrado exterior nocturno, se requiere entre 100 y 500 luxes de iluminancia media. Considerando las características de la aplicación, se decidió manejar una iluminancia media de 200 luxes.

Para la iluminación de la isla de descanso se seleccionó una bombilla LED modelo SP80B de 10W, 12-24 VCD/100-240 VCA, y, de 500 lm de luz blanca [22].

Por razones de diseño, se decidió ubicar 12 bombillas LED, 4 por cada área de trabajo en la isla de descanso.

La Tabla 1.1 resume la carga eléctrica requerida para iluminar la isla, estimada en 120 W.

Tabla 1.1 Demanda de energía para iluminación de la isla [10]

Área	# de lámparas	Potencia consumida[W]
Área 1	4	40 W
Área 2	4	40 W
Área 3	4	40 W
Potencia total requerida		120W

Fuente:<http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/Tesis%20Fierro%20Castillo%20Priscila%20del%20Rocio.pdf>

El consumo diario de energía en las bombillas LED, considerando un régimen promedio de funcionamiento entre las 18h00 y las 22h00.

$$E_c = 480 \text{ Wh/día}$$

#### **1.1.5.2 Requerimientos de carga para alimentar equipos portables.**

Como principal dispositivo portable a alimentar en las islas de descanso, se identificó a los laptops de los estudiantes. En el diseño de la isla, se prevé la existencia de dos tomacorrientes dobles por cada área de trabajo, con un total de 12 tomas. Considerando que cada laptop consume aproximadamente 250 W por cada hora de funcionamiento [11], se obtendrá una potencia total requerida de:

$$P_{tcp} = 3000W$$

El consumo diario de energía de las laptops, en el período entre 08h00 y 22h00 es de:

$$E_{cp} = 30000 \text{ Wh/día}$$

#### **1.1.5.3 Requerimientos totales de carga.**

A los requerimientos de carga para iluminación y para provisión de energía a los dispositivos portables, se les suma una reserva equivalente al 30 %, para cubrir cualquier demanda adicional. Por lo tanto, la energía total requerida en la isla de descanso es:

$$E_r = 39000 \text{ Wh/día}$$

### 1.1.6 Dimensionamiento de un sistema PV para provisión de energía a la isla de descanso.

El dimensionamiento de los elementos de un sistema PV, se sustenta en el requerimiento de energía de la carga, y, en la arquitectura propuesta para el sistema.

#### 1.1.6.1 Arquitectura propuesta para el sistema PV.

Los resultados obtenidos en el pre dimensionamiento del sistema PV, muestran un elevado consumo de energía por día y con ello un incremento considerable en el número de módulos CIGS, baterías, y, otros elementos indispensables para el sistema, debido a esto y a que el diseño arquitectónico de la isla no puede albergar a todos ellos, se planteó el re-diseño en el sistema, partiendo de la premisa de que el sistema PV alimenta sólo la carga de iluminación. Los otros requerimientos de energía serán atendidos desde la red pública.

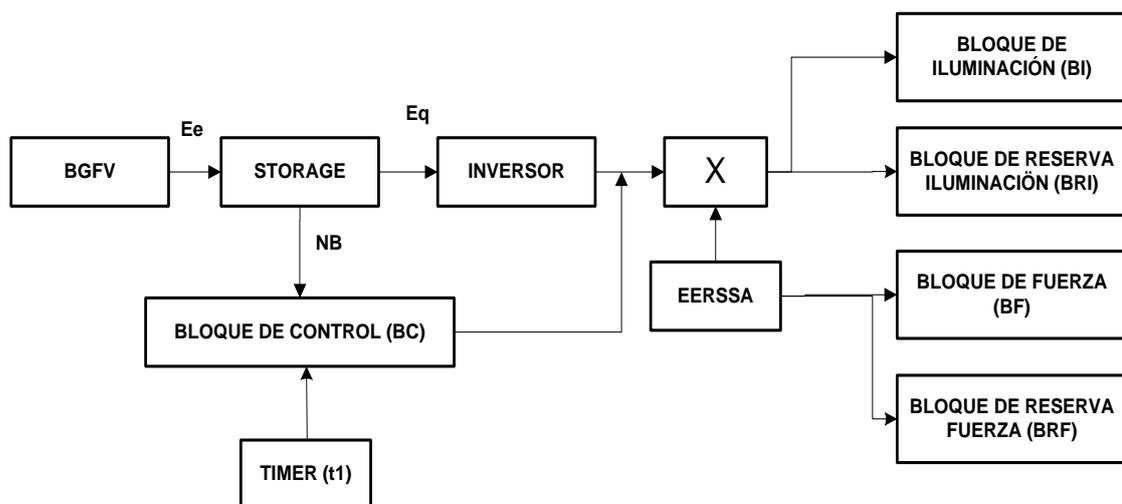


Fig. 1.7 Diagrama de bloques del sistema PV rediseñado [10].

La Fig. 1.7 muestra el diagrama de bloques del sistema PV rediseñado. El sistema consta un bloque de generación de energía fotovoltaica (BGPV), un bloque de almacenamiento de energía (STORAGE), un bloque de control (BC), una conmutación (X) entre el bloque de generación PV y la red pública eléctrica (EERSSA) para alimentar el bloque de iluminación (BI) y el bloque de reserva para iluminación (BRI) del 30%, y, un bloque de timer (t1).

Del bloque EERSSA se alimentará directamente el bloque de fuerza (BF), bloque de reserva de fuerza (BRF).

La alimentación del sistema de iluminación LED, y, la alimentación de laptops y otros dispositivos, proviene de un sistema de abastecimiento de energía híbrido, que combina la energía solar y la energía proveniente de la red eléctrica.

En el BGPV, la captación de energía solar se hace en módulos CIGS, que proporcionan corriente directa (CD) a 12 V. La energía eléctrica generada se almacena en una batería, para su posterior utilización [12]. Un inversor convierte la CD en corriente alterna (AC) a 110 V.

El BC decide sobre la alimentación de la carga, ya sea desde el sistema PV, o, de la red pública eléctrica. La decisión sobre el origen de la energía para iluminación se basa en dos variables: el nivel de la batería (NB), y, el valor del timer (t1).

Si la señal NB muestra que existe una reserva suficiente de energía en la batería, la carga de iluminación se alimenta de esta fuente, caso contrario el BC alimenta al sistema desde la red pública.

La alimentación de las tomas de fuerza proviene de la red eléctrica pública. El BC el timer t1, activa el encendido de las lámparas LED entre las 18h00 y las 22h00.

La Tabla 1.2, resume los resultados obtenidos al cuantificar la energía requerida para iluminarias, y, para cubrir una reserva del 30%, en cada isla.

Tabla 1.2 Consumo de energía para la isla de descanso [10]

Iluminación Periodo: 18h00/ 22h00	480Wh/día
Reserva de energía (30%)	144 Wh/día
Consumo total de energía	624 Wh/día 18720 Wh/mes 224,64 KWh/año

Fuente:<http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/Tesis%20Fierro%20Castillo%20Priscila%20del%20Rocio.pdf>

### **1.1.6.2 Dimensionamiento del bloque de generación de energía.**

El dimensionamiento del sistema PV rediseñado, se realiza de acuerdo a la metodología y consideraciones de la bibliografía [13] y en el Atlas Solar del Ecuador del CONELEC [14].

### **1.1.6.3 Bloque de storage de energía.**

El bloque de storage de energía almacena la energía eléctrica generada por los módulos PV. En este proyecto, se propone un storage electroquímico, a partir de baterías.

El número de baterías en paralelo necesarios para almacenar la energía proveniente de los módulos fotovoltaicos es de 3.

#### **1.1.6.4 Bloque de inversor y regulador.**

Se seleccionó un inversor TEP-300W 12VDC / 110VAC [15], con una capacidad máxima continua de 300W.

El regulador deberá soportar un mínimo de 15 A. El modelo seleccionado es ProStar PS-15A [16].

#### **1.1.6.5 Bloque de iluminación.**

Este bloque estará integrado por 12 lámparas LED de 10W, a 120 VAC, 4 por cada área de trabajo en la isla de descanso.

#### **1.1.6.6 Bloque de conmutación.**

Este bloque permitirá la transferencia entre la red eléctrica pública y el SSFV (con banco de baterías conectado a un inversor).

La conmutación será automática. La llave conmutadora estará activada por el relevador (R), que está permanentemente conectado a la fuente externa. Cuando ésta es activada, el conmutador conecta la carga a la misma. Durante las horas en que permanece inactiva, el relevador vuelve a su posición de reposo, reconectando la salida del inversor al circuito de entrada de la isla de descanso [17].

### 1.1.7 Presupuesto de inversión.

Para la elaboración del presupuesto, se consideró los costos de equipos y materiales, los costos de instalación, los costos de mantenimiento, y, los costos de explotación.

#### 1.1.7.1 Costos de equipos y materiales.

Bajo el rubro costos de equipos se incluye la inversión en la adquisición de módulos fotovoltaicos CIGS, controlador de carga, inversor, batería, conmutador, lámparas LED, cableado, etc.

Tabla 1.3 Costos de equipos del sistema híbrido de provisión de energía para las islas de descanso [18-23].

Equipo	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio Total (USD)
Laminas Power Flex BIPV 82 W	2	182.00	364.00
Batería Millenium 31DC115	3	265.00	795.00
Controlador de carga ProStar PS-15A	1	150.00	150.00
Inversor TEP-300W 12VDC/110VAC	1	40.00	40.00
Conmutador VAC2/S-15E	1	70.00	70.00
Bombilla LED SP80B/10W	12	40.00	480.00
<b>Total (USD)</b>			<b>1.899</b>

Fuente: <http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/Tesis%20Fierro%20Castillo%20-Priscila%20del%20Rocio.pdf>

Establecidas sus características técnicas, los elementos a adquirir, fueron seleccionados de distintos proveedores. La Tabla 1.3, resume la inversión requerida en este rubro.

El rubro *costos de instalación* incluye montaje, conexiones de equipos e instalación

Al rubro *costos de mantenimiento*, se relacionan los costos de limpieza de impurezas y de polvo en los módulos PV durante su vida útil [24], y, la comprobación del estado de otros equipos [25] [26].

Bajo el rubro *costos de explotación*, se incluyen la reposición de baterías para un periodo de 20 a 25 años, período equivalente al tiempo de vida útil de los módulos fotovoltaicos.

La tabla 1.4, resume los costos totales de implementación del sistema híbrido de provisión de energía para las islas de descanso.

Tabla 1.4 Costos totales de implementación del sistema híbrido de provisión de energía para las islas de descanso [10].

Costos de equipos (USD)	1899.00
Costos de instalación (USD)	700.00
Costos de mantenimiento (USD)	450.00
Costos de explotación (USD)	3180.00
Imprevistos, 5%	311.45
<b>Inversión total (USD)</b>	<b>6540.45</b>

Fuente: <http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/Tesis%20Fierro%20Castillo%20-Priscila%20del%20Rocio.pdf>

La inversión total para implementar una isla de descanso en el campus San Cayetano de la UTPL es de 6540,45 USD.

## **1.2 Potenciales problemas detectados y definición de objetivos para los estudios de la fase de factibilidad**

El análisis de los resultados de la fase de prefactibilidad, permitió identificar al menos 2 problemas a resolver:

- El costo de la obra arquitectónica.
- El costo de implementación del sistema de provisión de energía

En el marco de la fase de factibilidad del proyecto, se decidió abordar la reducción de los costos de implementación del sistema de provisión de energía, al margen de la búsqueda de mejores opciones para la construcción de la isla.

Para cumplir con el objetivo propuesto, se planteó dos iniciativas de ejecución simultánea:

- Redefinir la arquitectura del sistema de provisión de energía, con el propósito de limitar la carga a abastecer.
- Redimensionar los componentes del sistema de provisión de energía, y, en lo posible asumir el diseño y construcción de los dispositivos y equipos requeridos.

**CAPÍTULO II**

## **OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE PROVISIÓN DE ENERGÍA A UNA ISLA EXPERIMENTAL PARA EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL**

En la fase de prefactibilidad de la implementación de una isla del conocimiento en el campus San Cayetano de la UTPL, con provisión de energía desde fuentes renovables, se determinó la necesidad de reducir los costos de instalación, mediante la optimización del diseño arquitectónico, y, del diseño del sistema de provisión de energía.

En este contexto, se decidió montar una isla experimental de bajo costo arquitectónico, en la que se optimice el diseño del sistema de provisión de energía, y, en lo posible se fabrique el equipamiento electrónico requerido.

En este capítulo, se resumen los principales requerimientos planteados a la isla experimental.

### **2.1 Requerimientos planteados para la isla experimental**

#### **2.1.1 Diseño arquitectónico de la isla experimental.**

El equipo de trabajo decidió minimizar la inversión en infraestructura arquitectónica, razón por la cual se propuso la construcción de una estructura metálica mínima, capaz de proveer la superficie de cubierta requerida para la ubicación de las láminas solares, y, con un espacio interior suficiente para la instalación del resto de equipos, y, para la realización de pruebas de desempeño del sistema (ver Fig. 2.1)



Fig. 2.1 Estructura metálica construida para la isla experimental  
Fuente: Autores

La estructura metálica se construyó con materiales reutilizados. En el centro del espacio limitado por la estructura, se colocó un armario de madera para disposición de equipos, y, para ser utilizado a manera de mobiliario de la isla. La Tabla 2.1 muestra la geometría de la estructura, información relevante para el cálculo del bloque de iluminación de la isla experimental.

Tabla 2.1 Geometría de la estructura metálica empleada en la isla experimental.

Parámetro	Dimensión
Largo	5,50 m
Ancho	3 m
Área	16,5 m <sup>2</sup>
Altura	2,53 m
Altura de la mesa	0,7 m
Altura útil	1,83 m

Fuente: Autores

### **2.1.2 Optimización del diseño del sistema de provisión de energía para la isla experimental.**

En la fase de prefactibilidad se demostró que para cubrir los requerimientos de carga de los bloques de fuerza e iluminación de la isla experimental, desde fuentes renovables de energía, se requería de bloques robustos para captación de energía y almacenamiento, lo que incrementaba significativamente los costos de implementación.

Por esta razón, se propuso que el bloque de fuerza se provea de energía desde la red pública, y, que el bloque de iluminación se abastezca desde un sistema híbrido con base en energía solar. Por cuanto, la isla experimental se ubicó en las cercanías de un aerogenerador experimental, se sugirió utilizar la energía generada en él, como la segunda opción del sistema híbrido.

El sistema híbrido de provisión de energía propuesto para el bloque de iluminación, estará constituido por cinco módulos principales (ver Fig.2.3)

- Módulo de harvesting de energía
- Módulo de storage de energía
- Módulo de conversión de energía
- Módulo de conmutación
- Módulo de luminarias

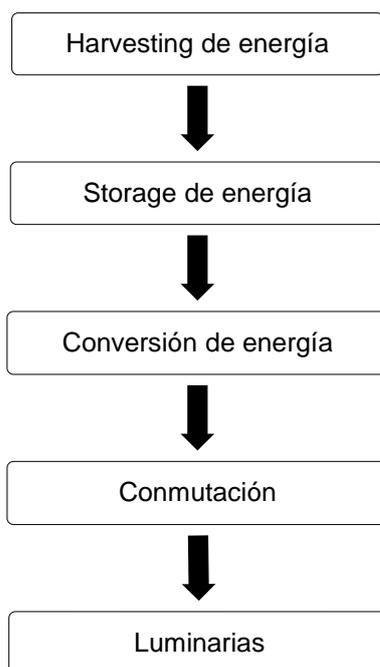


Fig. 2.2 Arquitectura del sistema híbrido de provisión de energía.

Fuente: Autores

### 2.1.2.1 Módulo de harvesting de energía.

Este módulo se encargará de generar la energía mediante módulos PV (PowerFilm 28 Watts Rollable Solar), que durante el día captan la energía proveniente del sol y la transforman a energía eléctrica (ver Tabla 2.2) [27].

Tabla 2.2. Características de lámina PowerFilm.

PowerFilm Rollable Solar	
Voltaje de Operación	15,4 V
Potencia	28 W
Corriente	1,8 A
Peso	0,6 lbs
Largo	2,025 m
Ancho	0,386 m

Fuente: <http://www.powerfilmsolar.com/products/?r28&show=product&productID=271518&productCategoryIDs=6578>

### 2.1.2.2 Módulo de storage de energía.

El storage de energía estará constituido por una batería (Ritar RA12-40) y un regulador de carga (Phocos CML10), la batería almacenará la energía eléctrica generada por las tres láminas, y el controlador de carga se encargará de manejar el flujo de electricidad entre las láminas solares, batería y la carga (ver Tablas 2.3 y 2.4) [28] [29].

Tabla 2.3 Características de batería Ritar RA12-40.

Ritar RA12-40	
Voltaje DC	12 V
Capacidad	40 Ah
Peso	13 Kg
Corriente máxima de descarga	400 A (5 seg.)

Fuente: [http://www.phocos.com/ppi/acrobat/Datasheet\\_CML\\_V2\\_ESP.pdf](http://www.phocos.com/ppi/acrobat/Datasheet_CML_V2_ESP.pdf)

Tabla 2.4 Características de controlador de carga Phocos CML10.

Phocos CML10	
Máxima corriente de módulos	10 A
Máxima corriente de consumo	10 A
Voltaje nominal del sistema	12/24V
Autoconsumo	<4mA
Dimensiones (l x a x p)	80x100x32mm

Fuente: <http://www.ritarpower.com/upload/pdf/2013022710222660161774.pdf>

### 2.1.2.3 Módulo de conversión de energía.

Este módulo estará conformado por el inversor (Avtec IN-300), que se encargará de transformar la corriente continua almacenada en la batería, en corriente alterna para el módulo de iluminación (ver Tabla 2.5) [30].

Tabla 2.5 Características del inversor Avtec IN-300

Avtec IN-300	
Voltaje de entrada	12 VDC /29A
Rango de voltaje de entrada	10 – 16 VDC
Voltaje de salida	115 VAC $\pm$ 10% /60Hz
Potencia máxima	300 Watt
Fusible interno	40 A
Dimensiones (l x a x p)	47 x 98 x 164 mm
Conexión de salida	Dos tomas Nema 5-15 R

Fuente: <http://www.datastore.com.ve/inversor-portatil-avtek-300w-c-pto-usb-in-300-avtek>

#### **2.1.2.4 Módulo de conmutación.**

Compuesto por un switch de tres estrados, en cual proporcione la energía constante hacia el bloque de iluminación, de tal forma que si un sistema de provisión de energía falla, se tenga un respaldo desde otro sistema, con la finalidad de que la iluminación de la isla esté presente en un régimen de trabajo mayor.

Además, este módulo estará compuesto por un temporizador el cual determinará el tiempo de uso del sistema de provisión de energía de respaldo hasta que la energía almacenada en el sistema fotovoltaico sea el indicado para abastecer la carga de iluminación.

#### **2.1.2.5 Módulo de iluminación.**

Se optó por utilizar lámparas de tecnología LED (PowerLed E27), por ser de bajo consumo, condición que es fundamental para los sistemas de provisión de energía no convencional.

El funcionamiento de este módulo, se lo hará por medio de un sensor de movimiento por infrarrojos (deko SR017), el que encenderá las lámparas cuando hay

presencia de personas y apagar si es lo contrario, además contiene una fotocelda para que la iluminación funcione solo en la noche (ver Tablas 2.6 y 2.7)

Tabla 2.6 Especificaciones de lámpara PowerLed E27.

PowerLed E27	
Potencia de consumo	10W
Voltaje de operación	85 – 265 VAC/60Hz
Flujo luminoso	450 lúmenes
Tiempo de vida	30000 horas

Fuente: <http://besdled.en.made-in-china.com/product/TqsEwQmOXNhG/China-High-Power-LED-Bulb-BESD-E27-10W-.html>

Tabla 2.7 Especificaciones de sensor deko SR017.

Deko SR017	
Ángulo de detección	360°
Voltaje de operación	110 – 130 VAC/60Hz
Distancia de detección	3 – 6 m
Altura de instalación	2.2m – 4m

Fuente: [http://www.getdeco.com/products/sensors\\_controls/](http://www.getdeco.com/products/sensors_controls/)

### 2.1.3 Redimensionamiento de los componentes del sistema de provisión de energía.

Todos los componentes de cada uno de los módulos del sistema de provisión de energía, serán establecidos acorde a la geometría de la isla experimental.

En la Fig. 2.4 se muestra el esquema final del sistema de provisión de energía para la iluminación de la isla representada por el harvesting de energía, storage de energía, conversión de energía, módulo de conmutación, sistema de provisión de energía de respaldo, y módulo de iluminación.

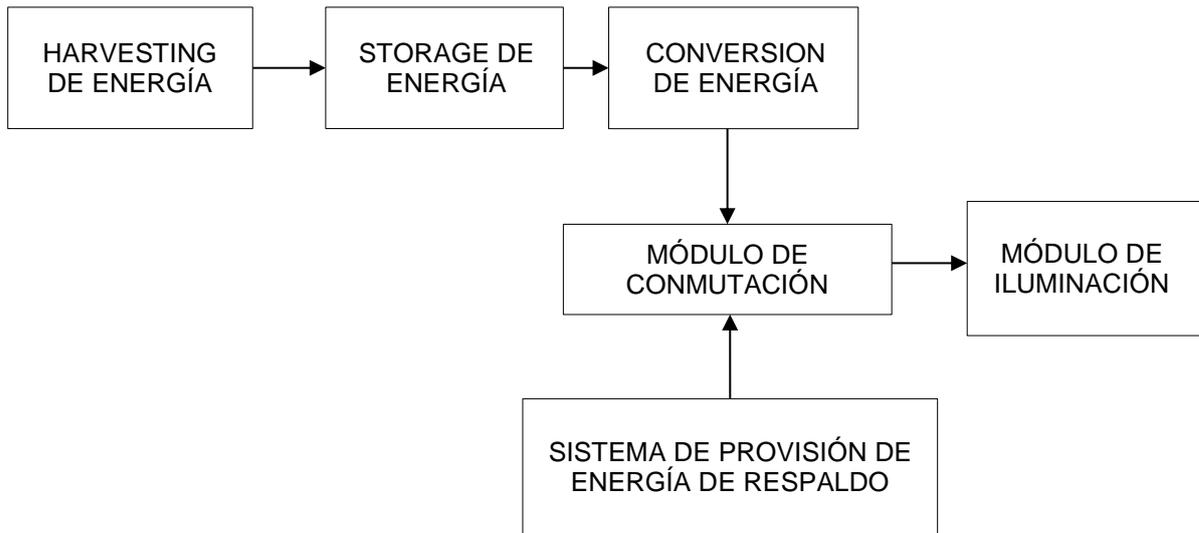


Fig. 2.3 Diagrama de bloques del sistema híbrido de provisión de energía.

Fuente: Autores

**CAPITULO III**

## DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE PROVISIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA ILUMINACIÓN DE UNA ISLA EXPERIMENTAL EN EL CAMPUS UTPL

En este capítulo se dimensionan y preseleccionan los equipos a utilizar en el sistema de provisión de energía fotovoltaica para iluminación de una isla experimental a implementar en el Campus San Cayetano de la UTPL, utilizando la metodología sugerida por el Ministerio de electricidad y energía renovable del Ecuador, en el atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica [13].

### 3.1 Cálculo de la carga requerida para iluminación de la isla experimental

La carga requerida para iluminación de la isla experimental, dependerá del número y del tipo de luminarias. En el marco de este proyecto, la carga se aproximó con ayuda del método de los lúmenes.

#### 3.1.1 Cálculo del índice de local ( $K$ ).

El índice del local ( $K$ ) depende de la geometría de la isla experimental, y, se determina a través de la ecuación (1):

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} \quad (1)$$

En dónde,

- a, es el ancho del local, m
- b, es el largo del local, m
- h, es la altura útil, m

La altura útil del local, se obtiene a través de la expresión (2):

$$h = d - p \quad (2)$$

En dónde,

d, es la altura del suelo al techo falso, m

p, es la altura entre el suelo y el plano de trabajo, m

Considerando la geometría de la isla experimental (ver Fig. 3.1), el índice del local se estimó en:

$$K = \frac{3 * 5,50}{1,83 (3 + 5,50)}$$

$$K = 1,061$$

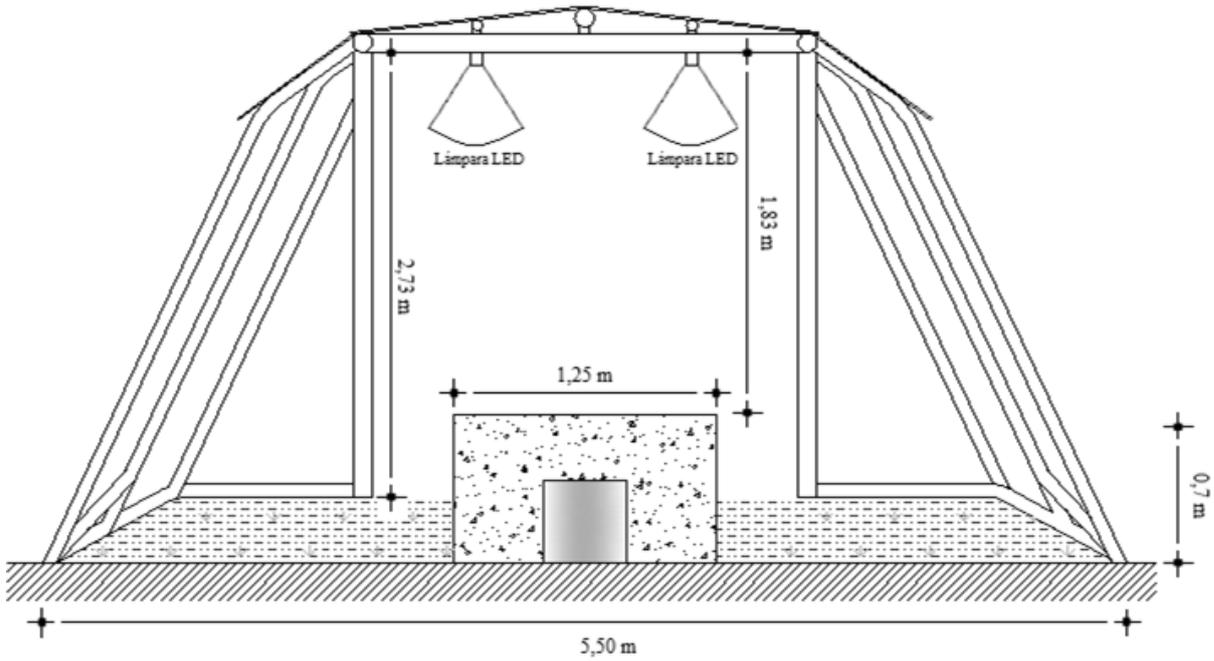


Fig. 3.1 Vista frontal de la estructura de la isla experimental.

Fuente: Diseño de los autores

### 3.1.2 Cálculo del coeficiente de utilización.

El coeficiente de utilización ( $C_u$ ), se define como el cociente entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo, y, el flujo total emitido por las lámparas instaladas.

De acuerdo a la metodología aplicada en este proyecto, la expresión (3) ofrece una buena aproximación para el cálculo de este coeficiente, en dependencia del índice del local y de los coeficientes de reflexión de techo, paredes, y, suelo.

$$C_u = \frac{\sum(\text{datos de corrección del índice de local})}{\text{Nro.de datos}} \quad (3)$$

Los coeficientes de reflexión se encuentran normados para diferentes tipos de materiales, superficies, y, acabados. En la Tabla 3.1, los recuadros en rojo muestran los

coeficientes de reflexión considerados, en función de los distintos materiales utilizados en la isla experimental.

Tabla 3.1 Coeficientes de reflexión [31]

Color de pintura	Coeficientes de reflexión	Material	Coeficientes de reflexión
Blanco	0.70 – 0.85	Mortero claro	0.35 – 0.55
Techo acústico blanco	0.50 – 0.65	Mortero oscuro	0.20 – 0.30
Gris claro	0.40 – 0.50	Hormigón claro	0.30 – 0.50
Gris oscuro	0.10 – 0.20	Hormigón oscuro	0.15 – 0.25
Negro	0.03 – 0.07	Arenisca clara	0.30 – 0.40
Crema, amarillo claro	0.50 – 0.75	Arenisca oscura	0.15 – 0.25
Marrón claro	0.30 – 0.40	Ladrillo claro	0.30 – 0.40
Marrón oscuro	0.10 – 0.20	Ladrillo oscuro	0.15 – 0.25
Azul claro	0.40 – 0.55	Aluminio mate	0.55 – 0.60
Azul oscuro	0.55 – 0.15	Granito	0.15 – 0.25

Fuente: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12833/art%C3%ADculo%20docente%20C%C3%A1lculo%20m%C3%A9todo%20de%20los%20C%C3%BAmenes.pdf?sequence=3>

Establecidos los coeficientes de reflexión, y, el índice del local, la data requerida para el numeral de la expresión (3), se obtiene por interpolación de la Tabla 3.2, tal como lo muestran los recuadros en rojo.

Tabla 3.2 Datos de corrección de Cu, en dependencia del índice del local [30]

Tabla de corrección						
Techo	0.70	0.70	0.70	0.50	0	
Suelo	0.70	0.50	0.20	0.20	0	
Pared	0.50	0.20	0.20	0.10	0	
k	0.6	77	58	49	48	45
k	1.0	100	77	69	67	63
k	1.5	116	91	84	80	77
k	2.5	129	100	95	90	86
k	3.0	133	103	99	93	89

Fuente: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12833/art%C3%ADculo%20docente%20C%C3%A1lculo%20m%C3%A9todo%20de%20los%20C%C3%BAmenes.pdf?sequence=3>

En definitiva:

$$C_u = \frac{(69 + 67 + 63 + 84 + 80 + 77)}{6}$$

$$C_u = \frac{440}{6}$$

Para efectos posteriores,  $C_u$  adoptará un valor decimal de 0,733.

### 3.1.3 Coeficiente de mantenimiento ( $C_m$ ) o conservación de la instalación.

Este coeficiente relaciona el flujo emitido por las lámparas, y, la acumulación de polvo y otros materiales sobre ellas. Este coeficiente depende de la polución ambiental y de la frecuencia de aseo del local (ver Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Coeficiente de mantenimiento anual en función de la polución ambiental [31]

Ambiente	Coeficiente de mantenimiento ( $C_m$ )
Limpio	0,8
Medio	0,7
Sucio	0,6

Fuente: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12833/art%C3%ADculo%20docente%20C3%A1culo%20m%C3%A9todo%20de%20los%20l%C3%BAmenes.pdf?sequence=3>

En el marco de este proyecto se consideró que, por cuanto la isla experimental es un lugar abierto y expuesto a la polución, el ambiente corresponde al criterio de *sucio*, por lo que el coeficiente de mantenimiento se fijó en 0,6.

### 3.1.4 Flujo luminoso total.

El flujo luminoso total se calcula a través de la ecuación (4):

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m} \quad (4)$$

En dónde,

- $\Phi_T$ , es el flujo luminoso total, lúmenes
- $E_m$ , es la iluminancia media del lugar, luxes
- $S$ , es la superficie total de la isla, m<sup>2</sup>
- $C_u$ , es el coeficiente de utilización, %
- $C_m$ , es el coeficiente de mantenimiento, unid

En el marco de este proyecto, sobre la base de norma UNE EN 12464-1 [32] para iluminación de espacios con presencia ocasional de personas, se consideró una iluminancia media de 200 luxes, por lo que el flujo luminoso total se estimó en:

$$\Phi_T = \frac{200 * 16,5}{0,733 * 0,6}$$

$$\Phi_T = 7503,41 \text{ lúmenes}$$

### 3.1.5 Número de luminarias.

El número de luminarias requeridas para iluminar la isla experimental, se define con ayuda de la expresión (5):

$$NL = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad (5)$$

En dónde,

- NL, es el número de luminarias, unid
- n, es el número de lámparas por cada luminaria, unid
- $\Phi_L$ , es el flujo luminoso de la lámpara, lúmenes

En función de su disponibilidad en el mercado, se preseleccionó luminarias tipo PowerLed E27 de 10W, cuyo flujo luminoso es de 450 lúmenes. Por lo tanto, el número requerido de luminarias se calculó en:

$$NL = \frac{7503,41}{1 * 450}$$

$$NL = 16$$

El equipo de trabajo consideró que el número calculado de luminarias es excesivo, razón por la cual se acordó experimentar con 4 luminarias distribuidas uniformemente en la superficie de la isla.

### 3.1.6 Demanda diaria de energía para la iluminación de la isla.

La potencia total para la iluminación de la isla experimental, corresponde a la requerida para alimentar a cuatro luminarias de 10W y a un sensor de movimiento por infrarrojo de 10W (ver Tabla 3.4).

Tabla 3.4 Potencia total requerida para la iluminación de la isla experimental

<b>Carga</b>	<b>Cantidad, Unid</b>	<b>Potencia, W</b>
<i>Lámparas</i>	4	10
<i>Sensor</i>	1	10
<b>Potencia total requerida</b>		<b>50</b>

Fuente: Autores

El consumo diario de energía en la carga, se determina con ayuda de la ecuación (6):

$$E_c = P_t * t \quad (6)$$

En dónde,

- $E_c$ , es la energía demandada, Wh/día
- $P_t$ , es la potencia total requerida, W
- $t$ , es el tiempo de funcionamiento, h

En el marco de este proyecto, se consideró un régimen de trabajo de 5h diarias, por lo que el consumo diario de energía en la carga se estimó en:

$$E_c = 50 * 5$$

$$E_c = 250 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

### 3.2 Dimensionamiento de los equipos requeridos para el sistema de provisión de energía de la isla

#### 3.2.1 Carga diaria de corriente.

La carga diaria de corriente se determina a través de la ecuación (7):

$$I_{DC} = \frac{E_c}{T_{CC}} \quad (7)$$

En dónde,

$I_{DC}$ , es la carga diaria de corriente, Ah

$T_{CC}$ , es la tensión de corriente continua del sistema, V

En el marco de este proyecto, se decidió que el sistema operara en 12V. La carga diaria de corriente se calculó entonces en:

$$I_{DC} = \frac{250}{12}$$

$$I_{DC} = 20,83 \text{ Ah}$$

### 3.2.2 Carga de corriente corregida.

La carga de corriente corregida, se obtiene mediante la expresión (8):

$$I_{cc} = I_{CD} * fs \quad (8)$$

En dónde,

$I_{cc}$ , es la carga de corriente corregida, Ah

$fs$ , es el factor de seguridad, %

$$I_{cc} = 16,67 \text{ Ah} * 1,2$$

$$I_{cc} = 25 \text{ Ah}$$

### 3.2.3 Corriente pico del sistema.

La corriente pico del sistema se calcula a partir del valor de la radiación solar media en la región, de acuerdo a la expresión (9):

$$I_P = \frac{I_{cc}}{I_{CDm}} \quad (9)$$

En dónde,

$I_p$ , es la corriente pico del sistema, A

$I_{CDm}$ , es la radiación solar media,  $KWh/m^2$

Según el atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica [14], la ciudad de Loja registra una radiación solar promedio anual de  $4,5 KWh/m^2$ . Entonces, la corriente pico del sistema se estimó en:

$$I_p = \frac{25}{4,5}$$

$$I_p = 5,55 A$$

### 3.2.4 Dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos.

En el marco de este proyecto se decidió operar con módulos solares conectados en paralelo. El arreglo de módulos solares requerido, se determina de acuerdo a la ecuación (10):

$$A_m = \frac{I_p}{I_{Pm}} \quad (10)$$

En dónde,

$A_m$ , es el arreglo de módulos en paralelo, unid

$I_{Pm}$ , es la intensidad pico de la lámina, A

En la isla experimental se instaló láminas solares tipo PowerFilm 28 W Rollable Solar, disponibles en la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL. De acuerdo a la hoja de datos, estas láminas tienen una corriente pico de 1,8 A, y, trabajan a 15V. Por lo tanto, el arreglo requerido de módulos se calculó en:

$$A_m = \frac{5,55}{1,8}$$

$$A_m = 3,083$$

La tensión de corriente continua nominal, se obtiene con ayuda de la ecuación (11):

$$T_{CCn} = \frac{T_{CC}}{T_{CCl}} \quad (11)$$

En dónde,

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

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

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

$$T_{CCn} = 0,8$$

El número total requerido de módulos para la iluminación de la isla, se determina de la ecuación (12):

$$Nt_m = A_m * T_{CCn} \quad (12)$$

En dónde,

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

$$Nt_m = 3,083 * 0,8$$

$$Nt_m \approx 3$$

En conclusión, para poder cubrir el requerimiento de carga en la iluminación de la isla experimental, se requiere de 3 láminas fotovoltaicas.

### 3.2.5 Dimensionamiento del banco de baterías.

La capacidad nominal del banco de baterías se calcula de acuerdo a la ecuación (13):

$$C_{nbb} = I_{cc} * D_r \quad (13)$$

En dónde.

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

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

Para este proyecto, se decidió considerar sólo un día de reserva. Entonces, la capacidad nominal del banco de baterías se aproximó a:

$$C_{nbb} = 25 * 1$$

$$C_{nbb} = 25 \text{ Ah}$$

La capacidad corregida del banco de baterías, se determina mediante a la ecuación (14):

$$C_{cbb} = \frac{C_{nbb}}{P_d} \quad (14)$$

En dónde,

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

$P_d$ , es la profundidad de descarga, %

Para este proyecto, entre las existentes en el mercado, se preseleccionó una batería Ritar RA12-40 de 40 Ah, cuya profundidad de descarga es del 70%. Por lo tanto:

$$C_{cbb} = \frac{25}{0,7}$$

$$C_{cbb} = 35,71 \text{ Ah}$$

Por cuanto la batería Ritar RA12-40 tiene una capacidad nominal de 40 Ah, se ratificó su selección.

El número requerido de baterías, conectadas en paralelo, se determina a través de las ecuación (15).

$$A_{bp} = \frac{C_{cbb}}{C_{nb}} \quad (15)$$

En dónde,

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

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

$$A_{bp} = \frac{35,71}{40}$$

$$A_{bp} \approx 1$$

Es decir, se requiere de una sola batería para acumular la energía proveniente de las láminas fotovoltaicas.

### 3.2.6 Dimensionamiento del regulador de carga.

La corriente máxima del regulador se aproxima mediante la ecuación (16):

$$I_{\max\_R} = \frac{C_{\max\_l}}{T_{CCb}} \quad (16)$$

En dónde,

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

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

$T_{CCb}$ , tensión de corriente continua nominal de la batería, V

Se consideró que el arreglo de láminas en paralelo es capaz de mantener una potencia de 84W, con lo que:

$$I_{\max\_R} = \frac{84 \text{ W}}{12 \text{ V}}$$

$$I_{\max\_R} = 7 \text{ A}$$

Para este proyecto, se seleccionó un regulador de carga tipo Phocos CML10, de 10 A.

### 3.2.7 Dimensionamiento del inversor.

Por cuanto la energía requerida por la carga en la isla experimental se calculó en 250 Wh/día, se requiere de un inversor con una capacidad máxima pico CA de 300W.

En este sentido, se decidió utilizar un inversor tipo Avtec IN-300, disponible en la SSE del DCCE.

La Tabla 3.5 resume las características técnicas de los equipos seleccionados para el sistema de provisión de energía a la isla experimental.

Tabla 3.5 Parámetros de los equipos a utilizar para el sistema de provisión de energía de la isla experimental.

Componentes	Cant.	Pot., W	Voltaje, V	Capacidad	Corriente pico, A
Lámparas LED	4	10	120 en AC, 60 Hz	-	-
Láminas FV	3	28	15,4 en CD	-	1,8
Baterías	1	-	12 en CD	40 Ah	-
Regulador	1	120	12 en CD	-	10
Inversor	1	300	12 en CD / 120 en AC	-	20

Fuente: Autores

**CAPITULO IV**

## **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE PROVISIÓN DE ENERGÍA PARA UNA ISLA EXPERIMENTAL UBICADA EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL**

La variabilidad de la energía provista por las fuentes renovables, debe compensarse antes de su entrega al usuario, quien generalmente exige una provisión constante e interrumpida. La utilización de sistemas híbridos de provisión de energía, se convierte entonces en una opción válida.

En el marco de este proyecto, se decidió diseñar e implementar un sistema híbrido para provisión de energía a una isla experimental, a ubicar en el Campus San Cayetano de la UTPL, según la arquitectura mostrada en la Fig.2.3 del Capítulo II, constituido por cinco módulos principales:

- Módulo de harvesting de energía.
- Módulo de storage de energía
- Módulo de conversión de energía
- Módulo de conmutación
- Módulo de luminarias

En trabajos anteriores se explicó por qué se propuso que en la isla experimental el bloque de fuerza se provea de energía desde la red pública, y, que el bloque de iluminación se abastezca desde un sistema híbrido con base en energía solar. Por cuanto, la isla experimental se ubicó en las cercanías de un aerogenerador experimental, se sugirió utilizar la energía generada en él, como la segunda opción del sistema híbrido.

Como parte del proyecto, se diseñó y construyó un módulo electrónico para transferir la alimentación de la carga, en forma automática, entre los módulos de provisión. Este documento describe el proceso de implementación, y, analiza los resultados previos.

## 4.1 Diseño y construcción del módulo de conmutación del sistema

El módulo de conmutación apoya la provisión constante e ininterrumpida de energía al bloque de iluminación. Desde la perspectiva del control automático, el módulo responde a la variable “nivel de energía disponible en las baterías”, que caracteriza al módulo de storage del sistema.

### 4.1.1 Diseño del módulo de conmutación.

La Fig. 4.1, muestra el flujograma de la lógica de operación propuesta para el módulo de conmutación, que operará en régimen automático.

En una primera etapa, se monitorea el nivel de voltaje en los bornes de las baterías del módulo de storage. Un descenso en el nivel más allá de lo permitido, emite una señal que activa la segunda etapa.

En la segunda etapa, un temporizador crea un delay (tiempo de espera) en la activación de un relé, que redirecciona la alimentación del tablero de protección y del módulo de iluminación, hacia otro sistema de provisión de energía.

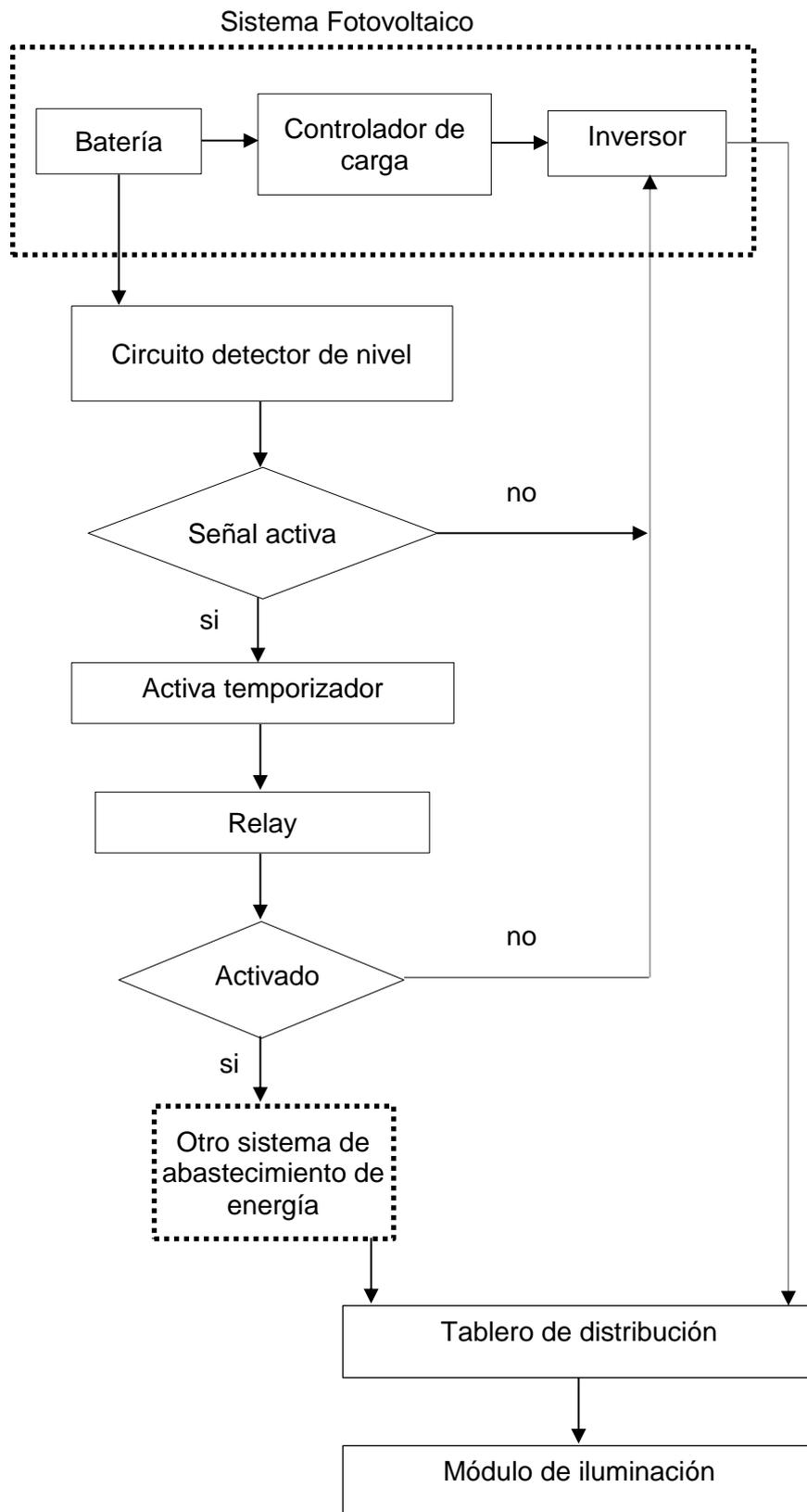


Fig. 4.1 Flujograma de la lógica de operación propuesta para el módulo de conmutación del sistema híbrido.

Fuente: Diseño de autores

#### 4.1.1.1 Detección del nivel de carga de las baterías.

Fig. 4.2, muestra el esquema del circuito detector de nivel de carga en las baterías. A un determinado nivel de voltaje en los bornes de las baterías (umbral), el módulo de storage pasa del régimen descarga al de standby, o, viceversa, en función de la dirección del paso [33].

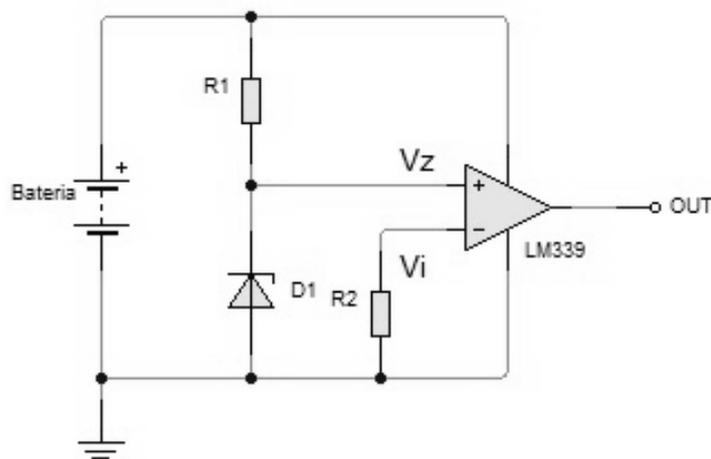


Fig. 4.2 Esquema del circuito detector de nivel en las baterías. [34]

Fuente: [http://www.frsf.utn.edu.ar/matero/visitante/bajar\\_apunte.php?id\\_catedra=141&id\\_apunte=3648](http://www.frsf.utn.edu.ar/matero/visitante/bajar_apunte.php?id_catedra=141&id_apunte=3648)

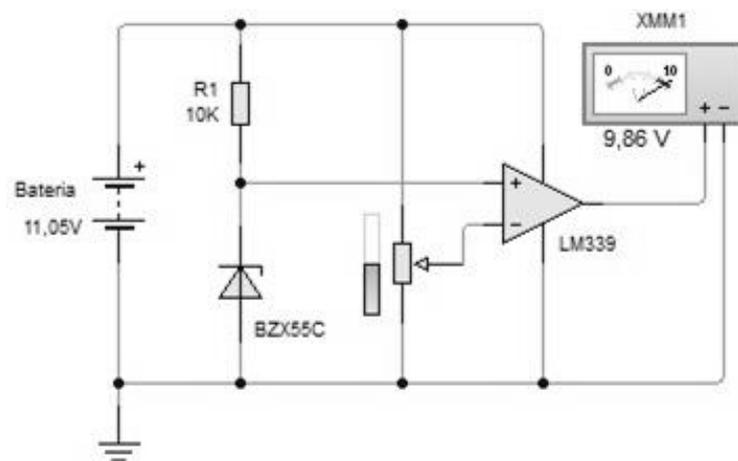
En el marco de este proyecto, el umbral se estableció considerando el criterio de los fabricantes del controlador de carga [29], en 11,6V.

En el esquema, el integrado LM339 compara la tensión en la entrada directa  $V_i$ , con la tensión de referencia del diodo Zener  $V_z$ , y, su salida se activa de acuerdo a la lógica descrita en la expresión (17) [34]:

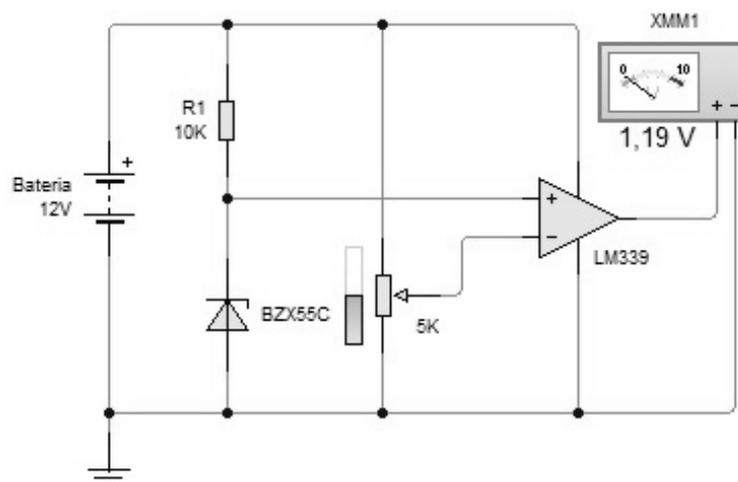
$$\begin{cases} V_z < V_i \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) & \rightarrow \text{señal activa} \\ V_z > V_i \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) & \rightarrow \text{señal desactiva} \end{cases} \quad (17)$$

A partir de una resistencia de  $10\text{K}\Omega$  en el resistor R1, la expresión (17) determinó que para el resistor R2 se requeriría de una resistencia mayor a  $34\Omega$ . Considerando la disponibilidad, se decidió emplear un potenciómetro de  $5\text{K}\Omega$ , aún a riesgo de sacrificar el ajuste de la resistencia.

Con ayuda del software Livewire [35], se simuló el funcionamiento del circuito detector de nivel con los parámetros establecidos, comprobando el cumplimiento de la lógica propuesta (ver Fig.4.3).



a)



b)

Fig. 4.3 Simulación del funcionamiento del circuito detector de nivel, utilizando Livewire a) batería descargada, b) batería cargada.

Fuente: Autores

#### 4.1.1.2 Temporización y conmutación.

Al pasar el voltaje de los bornes de las baterías a través del umbral definido, en la dirección de descarga, el circuito detector de nivel emite una señal "activa", cuya duración en el tiempo no es suficiente para activar el conmutador. Por esta razón, se decidió instalar un temporizador para mantener la señal.

El esquema general del circuito de temporización y conmutación, se muestra en la Fig. 4.4. En el esquema se utilizó un PIC16F876a, acondicionado por 2 capacitores cerámicos, que estabilizan la salida del cristal de 8000Mhz para obtener una señal de reloj. Un resistor de  $330\Omega$  se conecta a la entrada de un LED, para obtener un indicador de la actividad del sistema PV. El resistor de  $150\Omega$ , mantiene el transistor en corte ante la ausencia de la señal de entrada. El transistor NPN 2N3904 controla el funcionamiento del relay. El diodo 1N4004 compensa la inducción de la bobina del relay [34], [36].

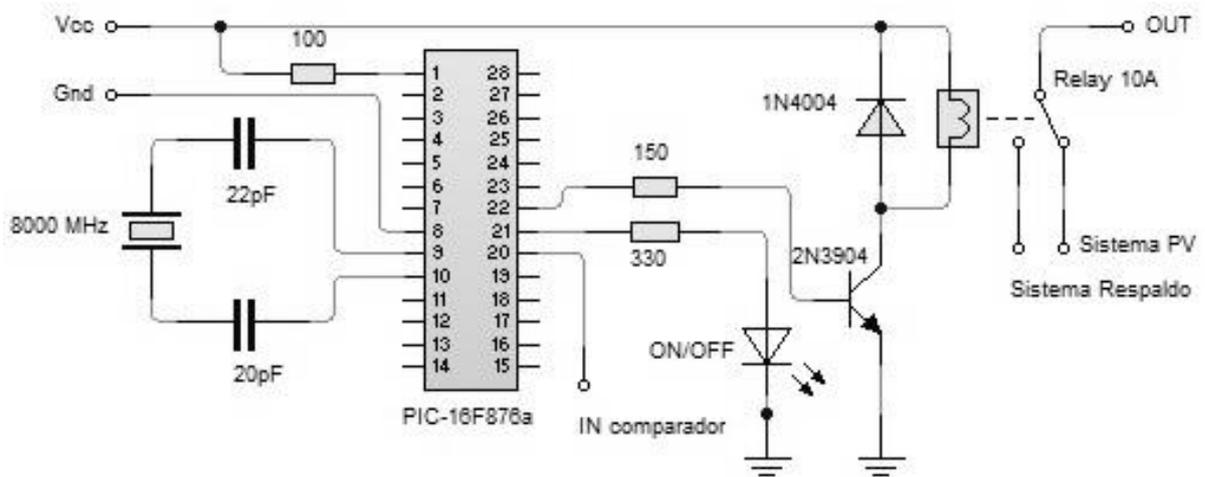


Fig. 4.4 Esquema del circuito de temporización y conmutación.

Fuente: Diseño de autores

#### 4.1.2 Construcción del módulo de conmutación.

Para la integración de los circuitos de detección de nivel de carga, y, de temporización y conmutación, se incluyeron nuevos elementos. Un capacitor de  $220\ \mu\text{F}$ , y, un regulador de voltaje LM7805, para alimentar al PIC con un voltaje de 5V. El potenciómetro POT 2 de 100K, ajusta el voltaje de la señal activo, desde el detector hacia la entrada del PIC, a 5V.

La Fig. 4.5 muestra el esquema general del módulo a construir, mientras que la Fig. 4.6 describe la placa diseñada para el módulo de conmutación, elaborada con ayuda del software PCB Wizard [37]. En la Fig. 4.7, se muestra el módulo de conmutación construido.

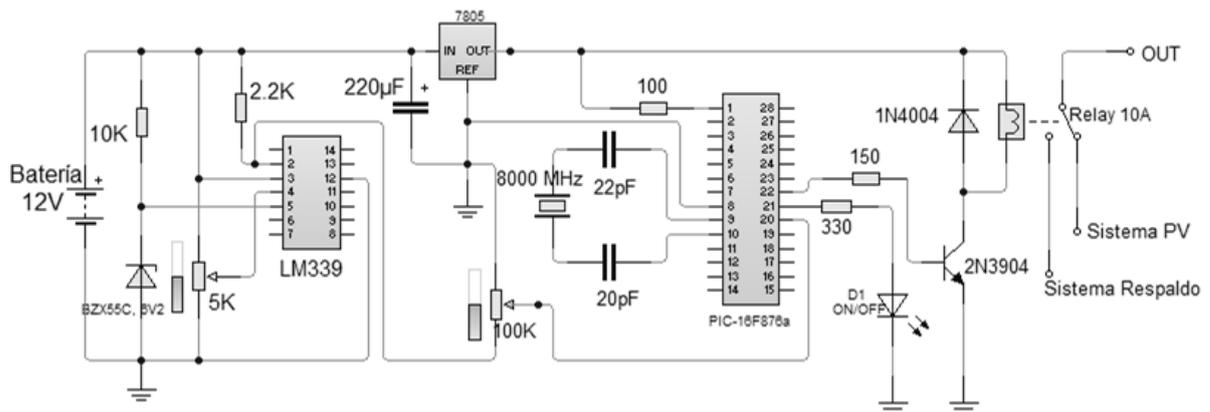


Fig. 4.5 Esquema general del módulo de conmutación, utilizando Livewire.

Fuente: Diseño de autores

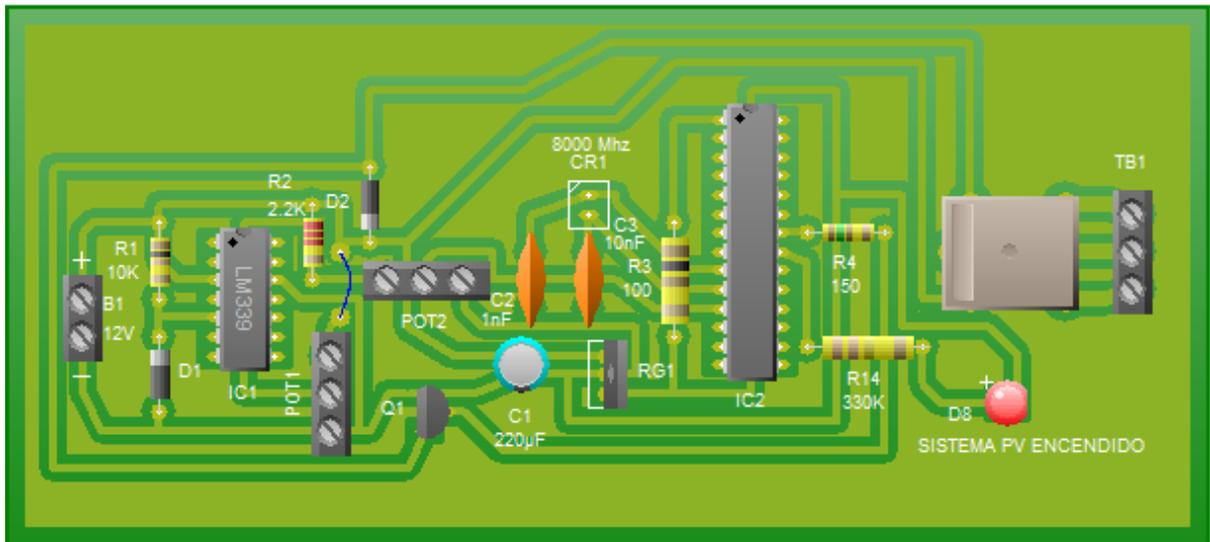


Fig. 4.6 Diseño de la placa del módulo de conmutación, utilizando PCB Wizard.

Fuente: Diseño de autores



Fig. 4.7 Módulo de conmutación construido para este proyecto.

Fuente: Autores

## 4.2 Instalación de los componentes del sistema híbrido

### 4.2.1 Módulos fotovoltaicos.

En la instalación de las láminas solares a utilizar en este proyecto, se observaron los criterios de montaje habituales para este tipo de sistemas.

Considerando la forma de la cubierta de la isla experimental, y, su ubicación respecto al Sol, se decidió ubicar las láminas solares de forma perpendicular a la cubierta, a ambos lados de la línea de división de aguas (ver Fig. 4.8). Las láminas solares se aseguran a la cubierta a través de 6 cáncamos, que proporcionan sujeción y separan la lámina de la cubierta, creando una zona de ventilación natural (ver Fig. 4.9). De acuerdo a los datos técnicos, las láminas solares utilizadas, tienen su mejor desempeño a una temperatura ambiente de trabajo a 25°C [38].

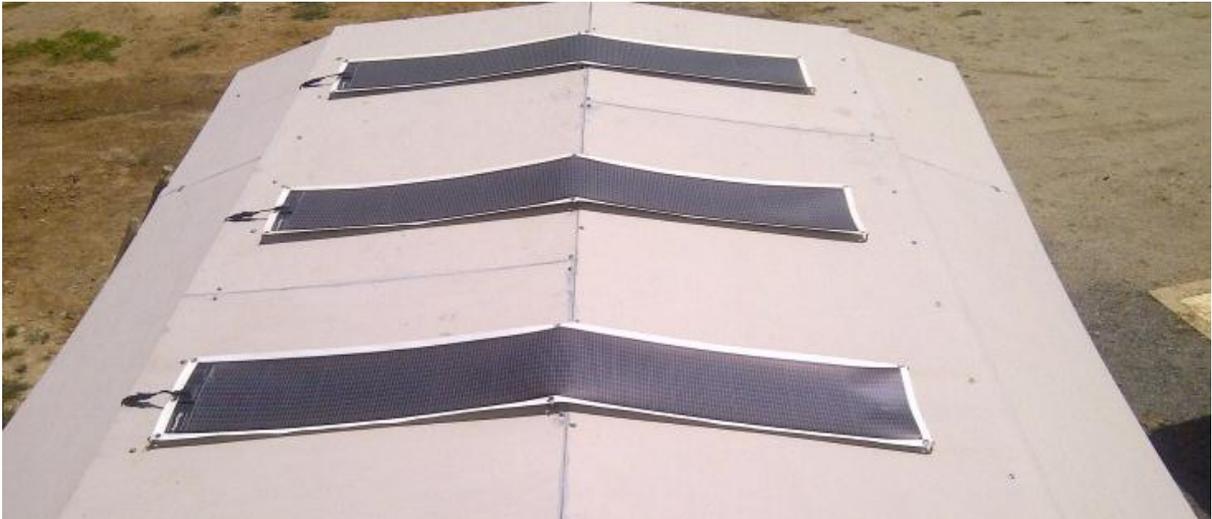


Fig. 4.8 Instalación de las láminas solares sobre la cubierta de la isla experimental.

Fuente: Autores



Fig. 4.9 Fijación de las láminas solares a la cubierta, utilizando cáncamos.

Fuente: Autores

Las 3 láminas utilizadas, se conectaron entre sí paralelo. Los cables de interconexión se dirigieron, a través de una canaleta, a un tablero de distribución, cuidando que la longitud del recorrido sea mínimo, y, reducir las pérdidas en conducción [39].

#### **4.2.2 Cables.**

El tipo de cable para conectar las láminas con la batería, a través del controlador de carga; y, el controlador con las luminarias, se seleccionó de acuerdo a los requerimientos eléctricos de ampacidad, caída de voltaje, y, seguridad en cada parte del sistema [36].

Considerando que el voltaje perdido en el cable, por el diámetro y el flujo de corriente, también depende de la longitud, se utilizó una tabla de caída de tensión sugerida por Green Empowerment [40], en busca de garantizar que la caída de tensión no sea mayor al 2% (ver Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Caída de tensión en cables de cobre, en función del diámetro, la intensidad de corriente, y, la longitud, para VDC [40].

Diámetro del cable			Intensidad de corriente, A					
Espesor, mm <sup>2</sup>	AWG	$\Omega$ /kft	1	2	3	4	5	6
			Longitud, m					
1,5	14	3,2600	11	6	4	3	2	2
2,5	12	2,0500	18	9	6	4	4	3
4	10	1,2900	28	14	9	7	6	5
6	8	0,8090	45	23	15	11	9	8

Fuente: <http://cenicasol.chica.org.ni/wp-content/uploads/2012/09/Voltage-Drop-Sheets-Espanol.xls>

Para la selección del cable a utilizar en la conexión de las láminas, controlador de carga, y, baterías, se consideró que las láminas dispuestas en paralelo proporcionan una corriente pico de 5,5 A y un voltaje de 12V, y, que las láminas y el controlador de carga, estarán a una distancia medida de 3,2 m. De acuerdo a la Tabla 1 (ver cuadros marcados en verde), un 2% de pérdidas se alcanza con un cable de 2,5 mm<sup>2</sup> de espesor, que corresponde a AWG 12.

El cable a utilizar en la conexión del módulo de storage y la carga, se seleccionó considerando una corriente menor a 1A, y, una distancia medida total de 8 m. De acuerdo a la Tabla 1 (ver cuadros marcados en azul), se decidió utilizar un cable de 1,5 mm<sup>2</sup> de espesor, correspondiente a AWG 14.

Para identificar los cables de interconexión, se decidió aplicar el método de colores sugerido por la norma NOM-001-SEDE-2005 [41]. Ante la falta de cables de distintos colores en el mercado, se optó por:

- utilizar cables sólidos AWG 12, color azul para el positivo y verde para el negativo, en la conexión de las láminas, controlador de carga, y, batería.
- utilizar cables sólidos AWG 12, color verde claro para la fase y amarillo para el neutro, en la conexión entre los tableros de control y distribución, y, entre el tablero de protección y el módulo de iluminación.

- utilizar cables sólidos AWG 14, color verde con marcas de cinta negra para fase y color verde para neutro, para la instalación de las luminarias.
- utilizar cable de hilos AWG 14 color rojo, para conexión a tierra.

#### 4.2.3 Tablero de control.

El tablero de control propuesto, permite centralizar la conexión de los módulos de storage y conmutación (ver Fig. 4.10 y 4.11).

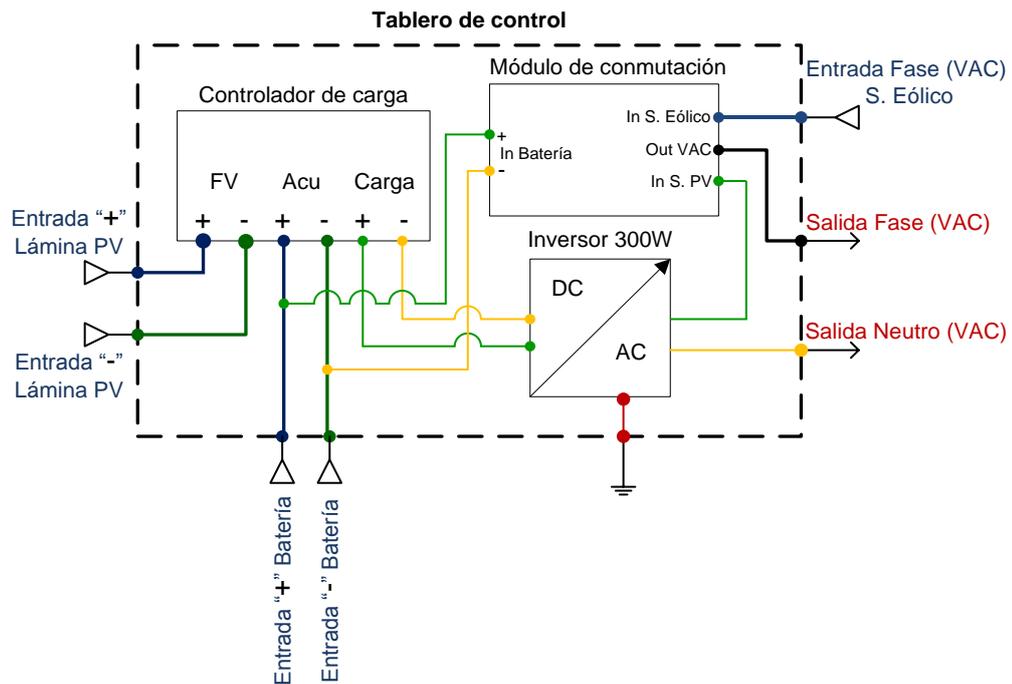


Fig. 4.10 Esquema eléctrico del tablero de distribución a implementar.

Fuente: Diseño de autores

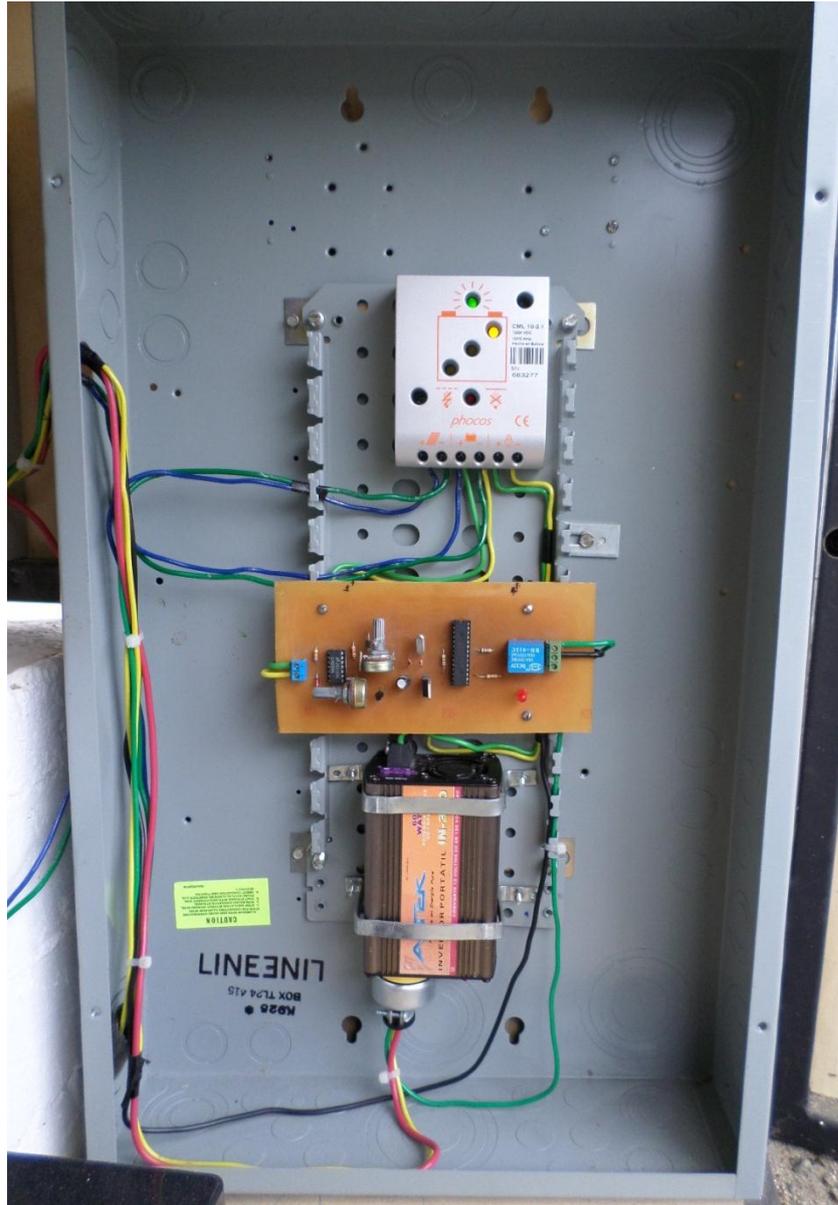


Fig. 4.11 Panorámica del tablero de distribución implementado.

Fuente: Autores

#### 4.2.4 Tablero de distribución.

El tablero de protección centraliza la activación y protección de cada uno de los circuitos del sistema [42]. El esquema eléctrico del tablero se muestra en la Fig. 4.12. De acuerdo a [42], para la protección se seleccionó breakers de 15 A.

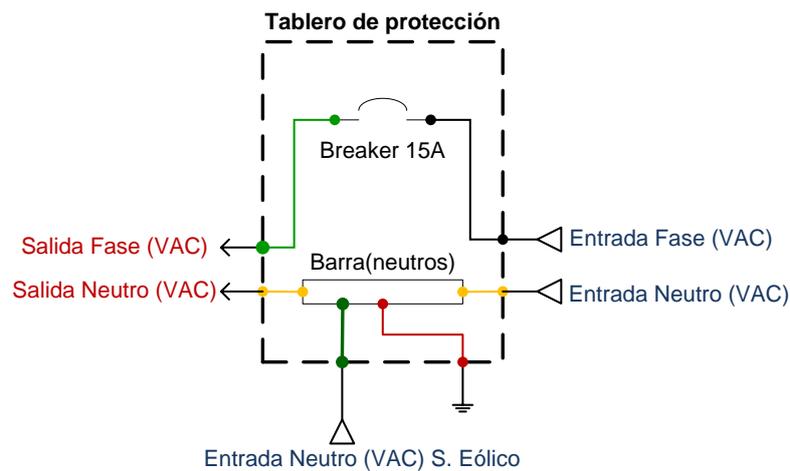


Fig. 4.12 Esquema eléctrico del tablero de distribución y protección.

Fuente: Diseño de autores

#### 4.2.5 Conexión de los tableros a tierra.

El aterrizaje o conexión a tierra pretende evitar tensiones peligrosas en las partes metálicas o conductoras de cualquier objeto, que no están diseñadas para conducir corriente en condiciones normales. Estas tensiones pueden aparecer por contacto con conductores vivos, o, por otras causas como inducción eléctrica.

Para protección de sobrecorriente, el cable de tierra se conecta con el neutro mediante un puente de unión. Esto permite que al presentarse una falla a tierra, se produzca un cortocircuito que haga operar el dispositivo de protección del circuito (ver Fig. 4.13) [42].



Fig. 4.13 Conexión a tierra del tablero de distribución.

Fuente: Autores

#### 4.2.6 Módulo de iluminación.

Para iluminación se utilizó 4 lámparas PowerLED de 10W, activadas a través de 1 sensor infrarrojo de movimiento tipo deko SR017 (ver Fig. 4.14). Las lámparas se instalaron en boquillas rotables, para compensar el desnivel del suelo. Las luminarias se conectaron con cable AWG #14, en correspondencia a la norma ecuatoriana NEC-11 de energías renovables [38], de acuerdo al esquema de conexión mostrado en la Fig. 4.15.



Fig. 4.14 Sistema de iluminación instalado.

Fuente: Autores

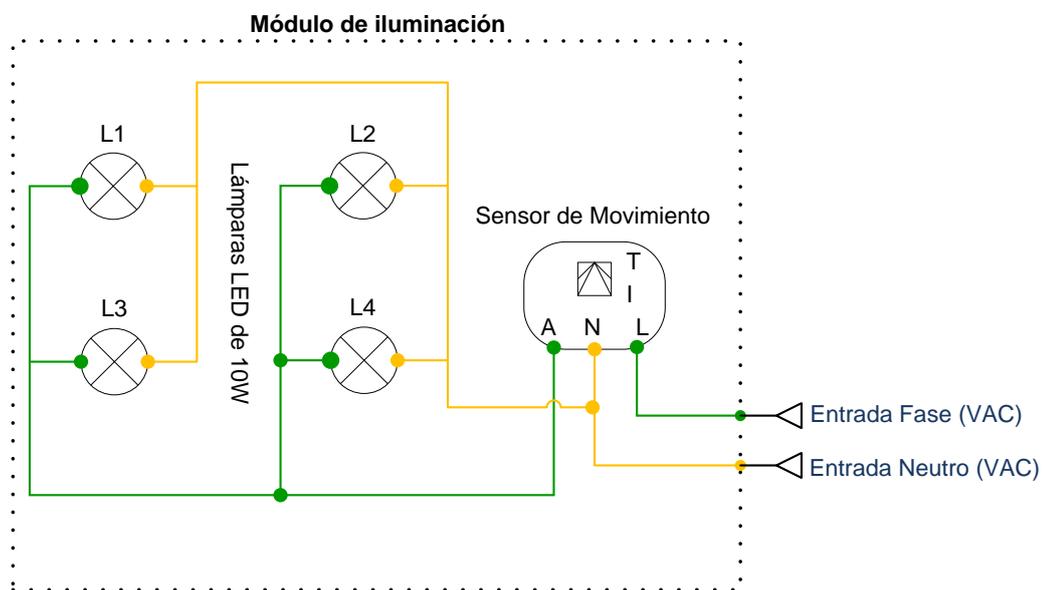


Fig. 4.15 Esquema de conexiones del módulo de iluminación.

Fuente: Diseño de autores

La Fig. 4.16 muestra un esquema general de las conexiones eléctricas en la isla experimental.

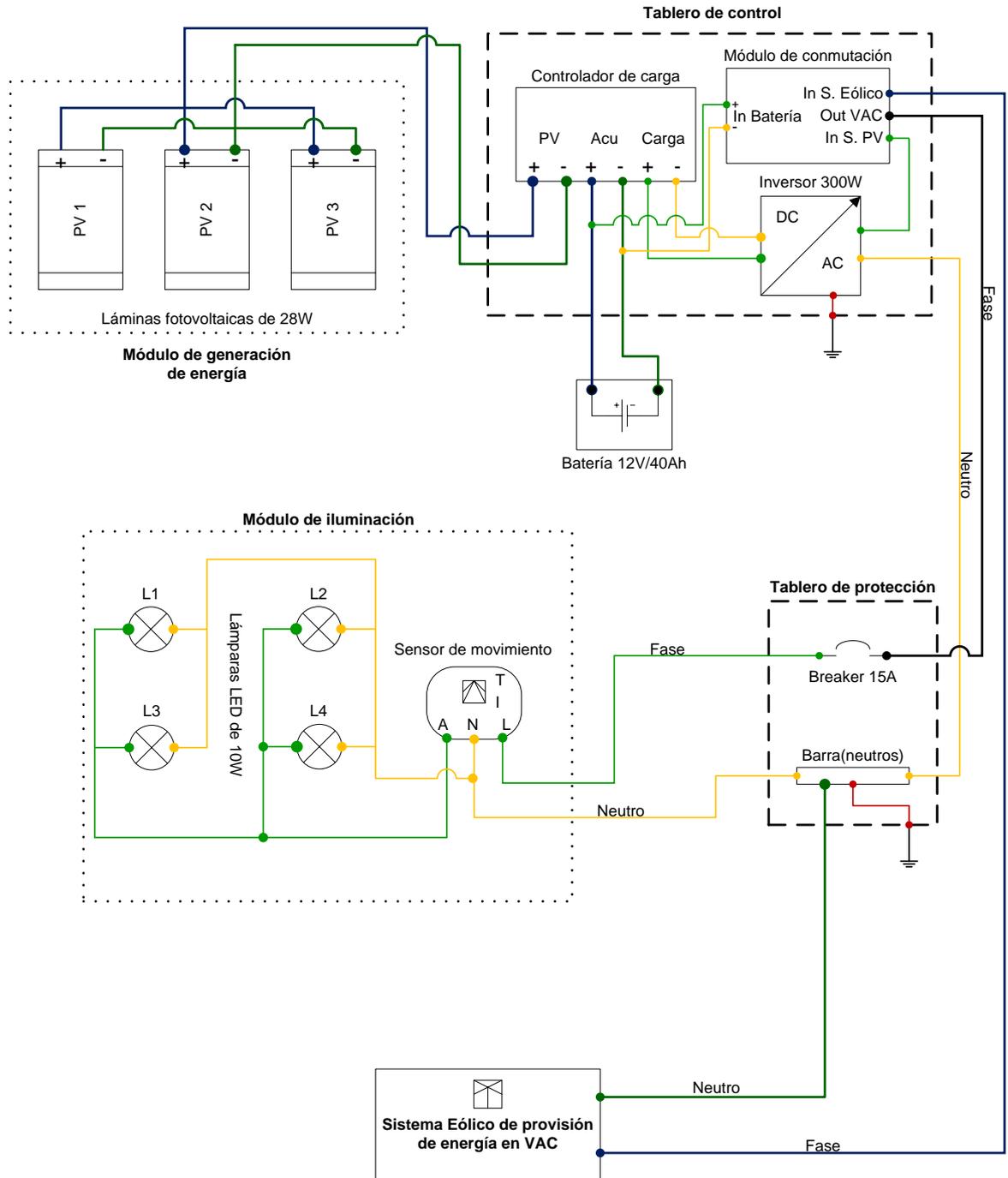


Fig. 4.16 Esquema general de las conexiones eléctricas del sistema híbrido de provisión de energía a la isla experimental.

Fuente: Diseño de autores

### 4.3 Cuantificación de la inversión realizada en la instalación

Para cuantificar la inversión realizada en la instalación del sistema híbrido de provisión de energía a la isla de experimental, se consideró rubros como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje (ver Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Cuantificación de la inversión realizada en la instalación del sistema híbrido de energía para la isla experimental [27-30].

Descripción de productos	Unidad	Cantidad	Precio unitario, USD	Inversión, USD
Cable conexión entre laminas 1x12 AWG	m	30	0,45	13,50
Batería Ritar Power RA1240D 12Vdc 40Ah, 12Vdc	u	1	148,75	148,75
Controlador de carga Phocos CML 12/24V 10/10A CML10-2.1	u	1	48,5	48,50
Set de conmutación automática y control	u	1	50	50,00
Breaker 10 A DC	u	1	13	13,00
Varilla de cobre para puesta a tierra, 5/8"	u	1	14	14,00
Cable de hilos verde para tierra 1x12 AWG	m	3	0,45	1,35
Canaleta de 1 x 1cm de 3 metros de largo	u	5	3	15,00
Caja de breakers	u	1	5	5,00
Detector de Movimiento de techo por sensor infrarrojos	u	1	9,5	9,50
Bombilla LED de 10W	u	4	15	60,00
Boquilla E27	u	4	3	12,00
Cable conexión entre bombillas LED y batería 1x14 AWG	m	40	0,3	12,00
Misceláneos (cáncamos, fusibles, cinta aislante, terminales de cable que los equipos ofertados requieran según especificaciones técnicas de los mismos.)	u	1	40	40,00
<b>Subtotal incluido el IVA, 12%</b>				<b>442,60</b>
<b>Imprevistos, 5%</b>				<b>22,13</b>
<b>TOTAL</b>				<b>464,73</b>

Fuente: Autores

**CAPITULO V**

## EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA HÍBRIDO DE PROVISIÓN DE ENERGÍA PARA UNA ISLA EXPERIMENTAL UBICADA EN EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL

### 5.1 Evaluación del desempeño del sistema

#### 5.1.1 Metodología.

La evaluación del desempeño del sistema híbrido instalado, se dividió en dos fases: verificación del funcionamiento del arreglo de láminas PV, y, evaluación de la operatividad del bloque de transferencia.

#### 5.1.2 Evaluación el desempeño del arreglo de láminas PV.

En la bibliografía [43] se explica que en el Ecuador los días tienen una duración casi constante de 12,1 h. Minimizando la influencia de la variabilidad de la nubosidad a lo largo del año, se puede afirmar que, en un día lo bastante despejado, se puede monitorear el desempeño de un sistema fotovoltaico e inferir su comportamiento óptimo a lo largo del año.

Bajo esta premisa, para evaluar el desempeño del arreglo de láminas PV, se decidió monitorear el comportamiento de las variables de voltaje y corriente DC, durante 1 día, considerando como carga a la batería. El monitoreo se realizó el 4 de julio de 2013, entre las 6h00 y 18h00, en intervalos de 10 minutos.

Conocidos el voltaje y la corriente, se calculó la potencia entregada por el arreglo de láminas PV, mediante la expresión (18):

$$P = V \times I \quad (18)$$

En dónde,

$V$ , es el voltaje en los bornes de las láminas,  $V$

$I$ , es la corriente en el circuito de carga,  $A$

Para el registro de las variables se utilizó un voltímetro y un amperímetro, con una precisión de  $\pm 0,5 \%$  [44], instalados de acuerdo al esquema mostrado en la Fig. 5.1. De acuerdo al dimensionamiento del sistema, se esperaba una variación de voltaje entre 0 y 15  $V$ , y, una variación de corriente entre 0 y 5.5  $A$  en corriente directa.

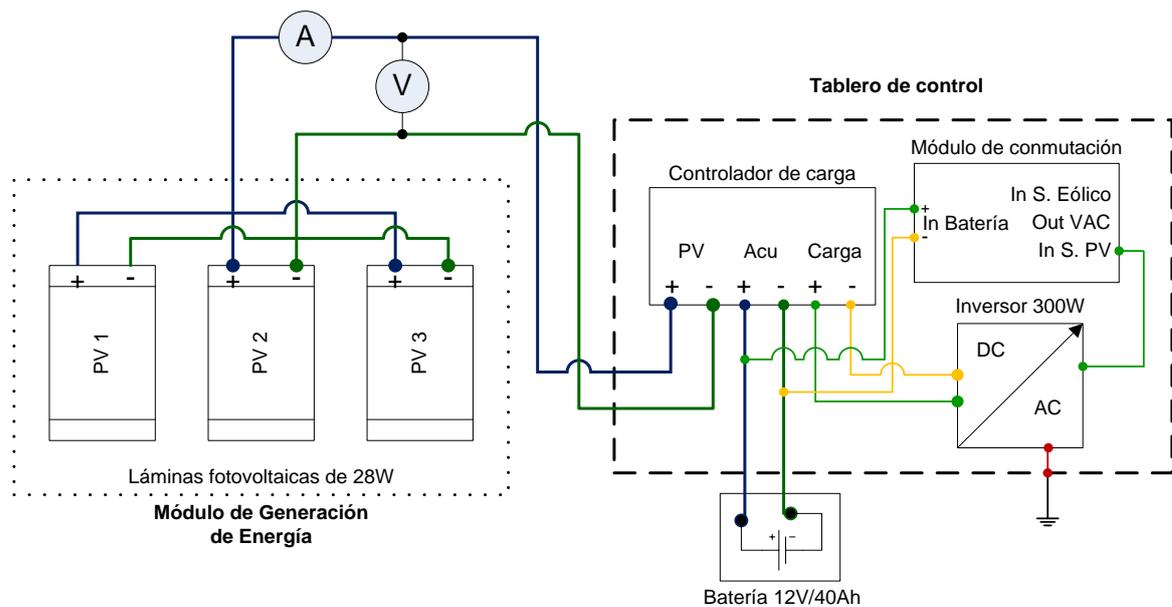


Fig. 5.1 Esquema de conexión de instrumentos de medición: amperímetro (A), voltímetro (V)

Fuente: Diseño de autores.

Los resultados de potencia obtenidos, permitieron construir una *curva de potencia proporcionada* por las láminas solares, la que se comparó con la *curva de potencia esperada*, construida bajo el paradigma de que en el Ecuador, el Sol recorre el firmamento a una velocidad angular de 15 grados por hora, y, se mantiene cerca del zenit por 2 h. Fuera de este intervalo, el nivel de radiación solar decrece, por lo que la energía colectada en las

láminas antes de las 10h00 y después de las 14h00 es mucho menor a la colectada en el mediodía [43] (ver Fig. 5.2).

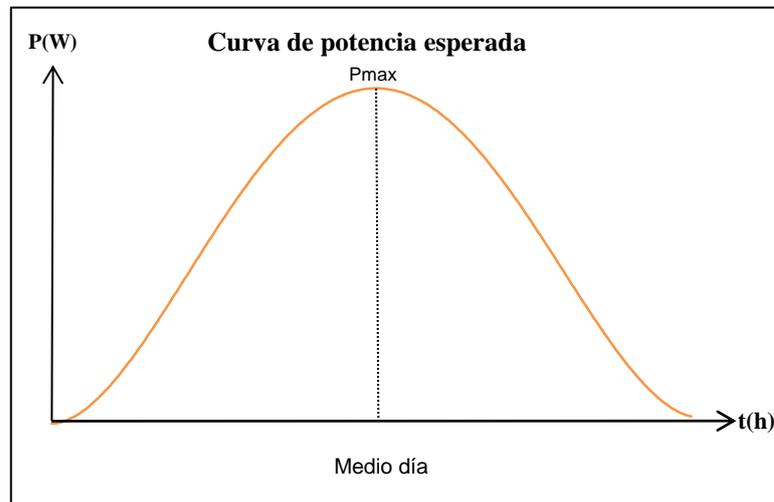


Fig. 5. 2 Curva esperada de potencia en la salida del arreglo de láminas solares. [Autores]  
Fuente: elaborado por los autores.

La energía provista por el sistema, se aproximó a través de la determinación del área bajo la curva de potencia proporcionada.

Las Fig. 5.3 y 5.4, muestran los resultados obtenidos para voltaje y corriente durante el monitoreo.

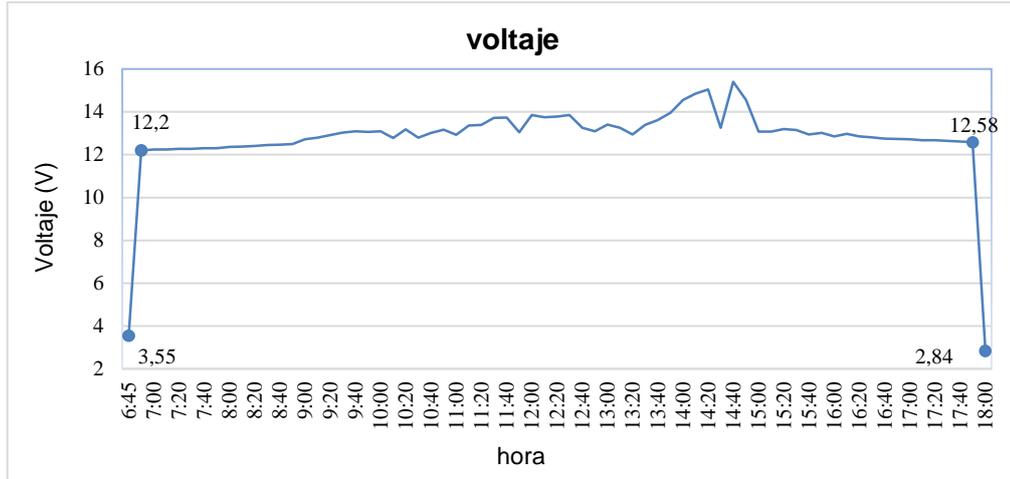


Fig. 5.3 Voltaje en los bornes del arreglo de láminas PV  
Fuente: elaborada por los autores

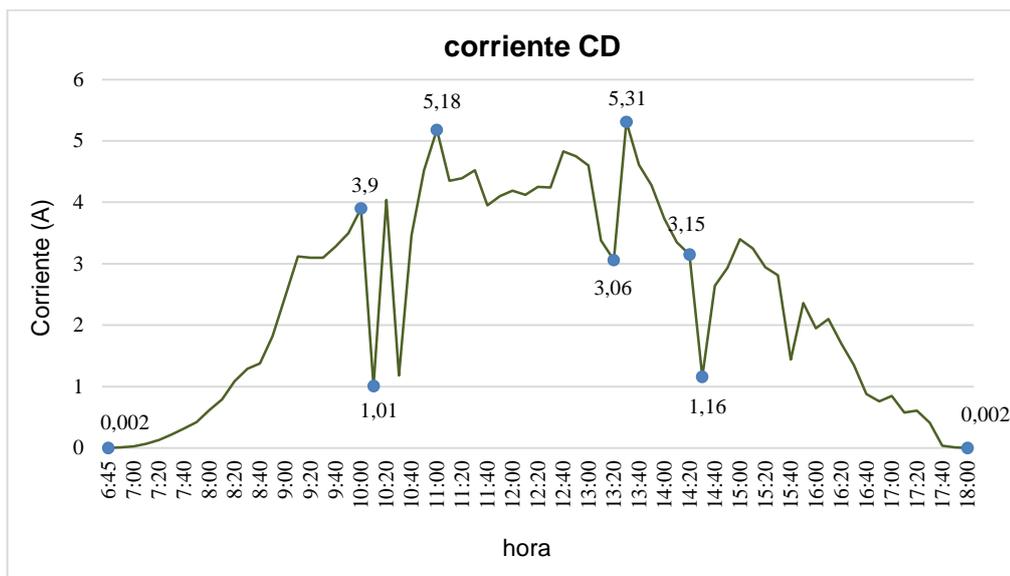


Fig. 5.4 Corriente CD del arreglo de láminas.  
Fuente: elaborada por los autores

En la Fig. 5.5, se muestra la potencia proporcionada por el sistema, a una carga representada por la batería (ver Fig.1).

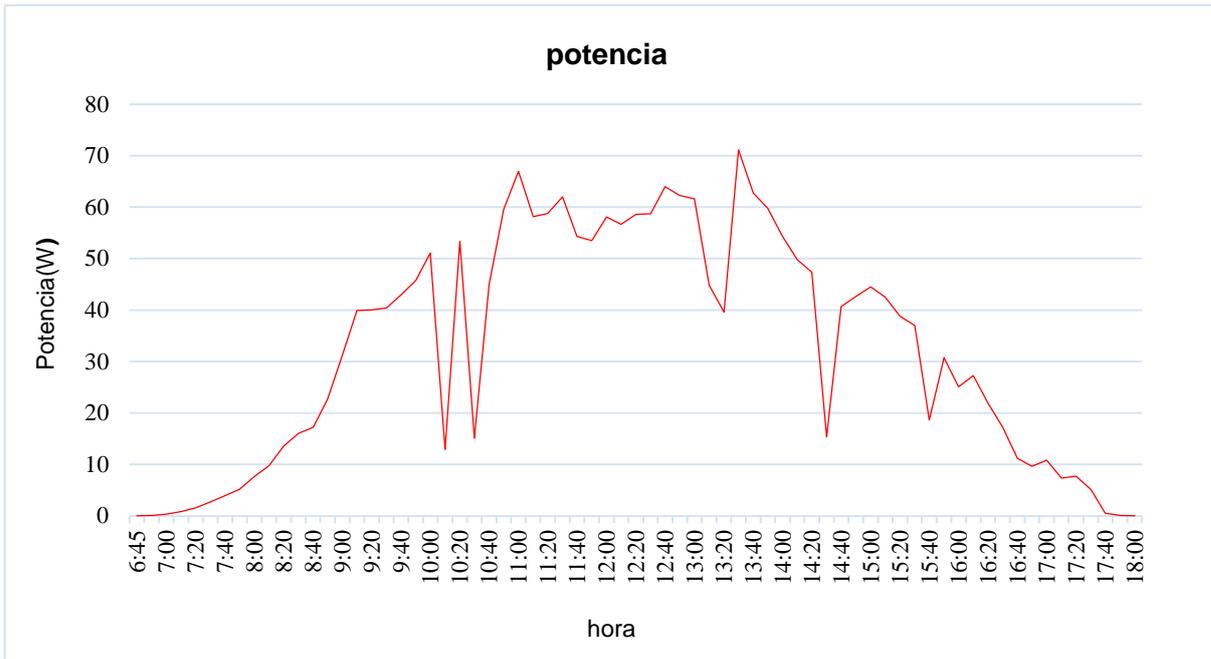


Fig. 5.5 Potencia proporcionada por el arreglo de láminas a la carga.

Fuente: elaborada por los autores

### 5.1.2.1 Análisis de resultados

La gráfica de voltaje (ver Fig. 5.3), muestra que entre las 6h50 y las 17h30, el voltaje en los bornes del arreglo de láminas oscila entre 12,2 y 12,58 V. La gráfica de corriente, por su parte, muestra un comportamiento semejante a la de la curva de la potencia esperada, pero con valles de corta duración, debidos presumiblemente a variación de la radiación solar sobre las láminas PV.

En la Fig. 5.6 se muestra la relación entre las variables de voltaje, corriente, y, potencia del sistema. Por cuanto en el intervalo de 6h45 a 18h00, el voltaje es caso constante, la forma de la curva de potencia reproduce el comportamiento de la curva de corriente.

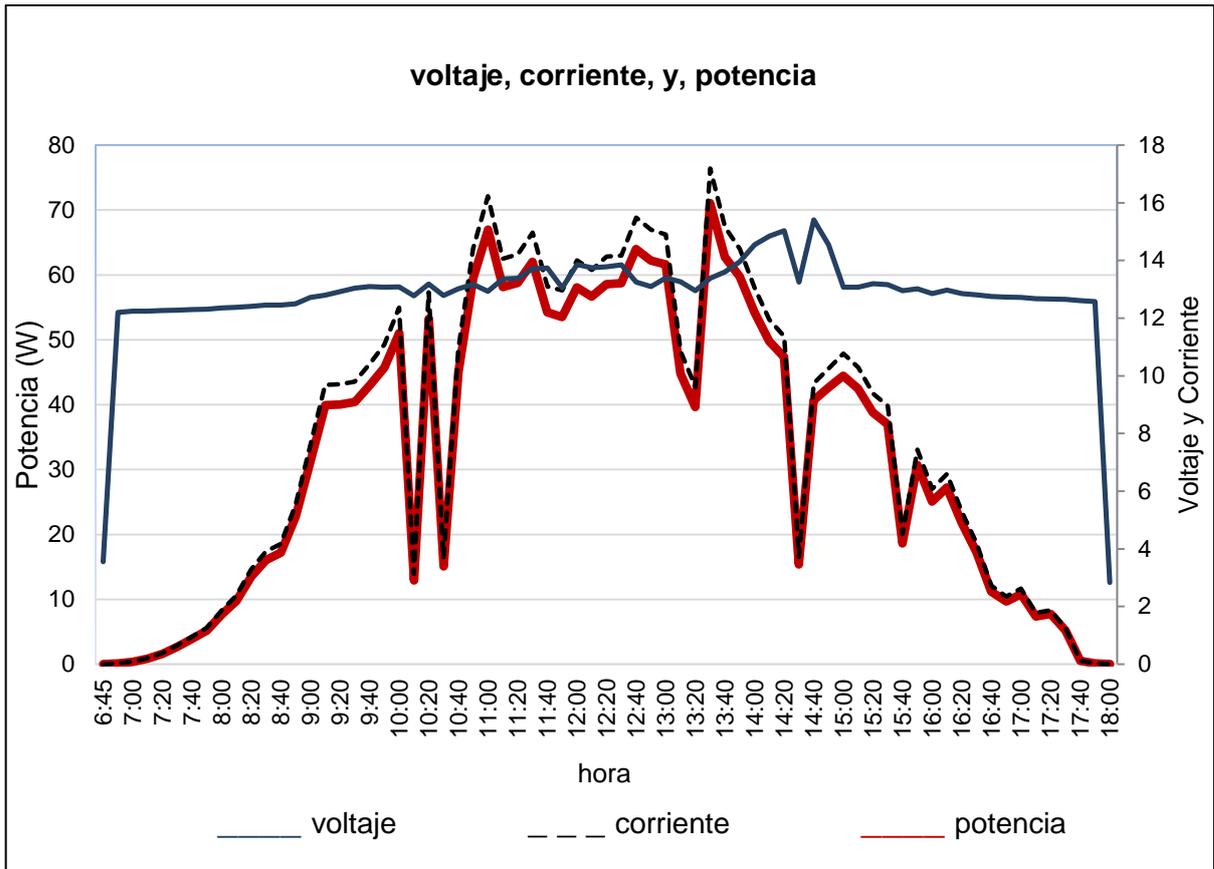


Fig. 5.6 Curvas de voltaje, corriente, y potencia del arreglo de las láminas  
Fuente: elaborada por los autores

En la Fig. 5.7 se puede apreciar que la curva de la potencia proporcionada es semejante a la curva de potencia esperada, por lo cual se puede afirmar que el sistema funciona de acuerdo al diseño.

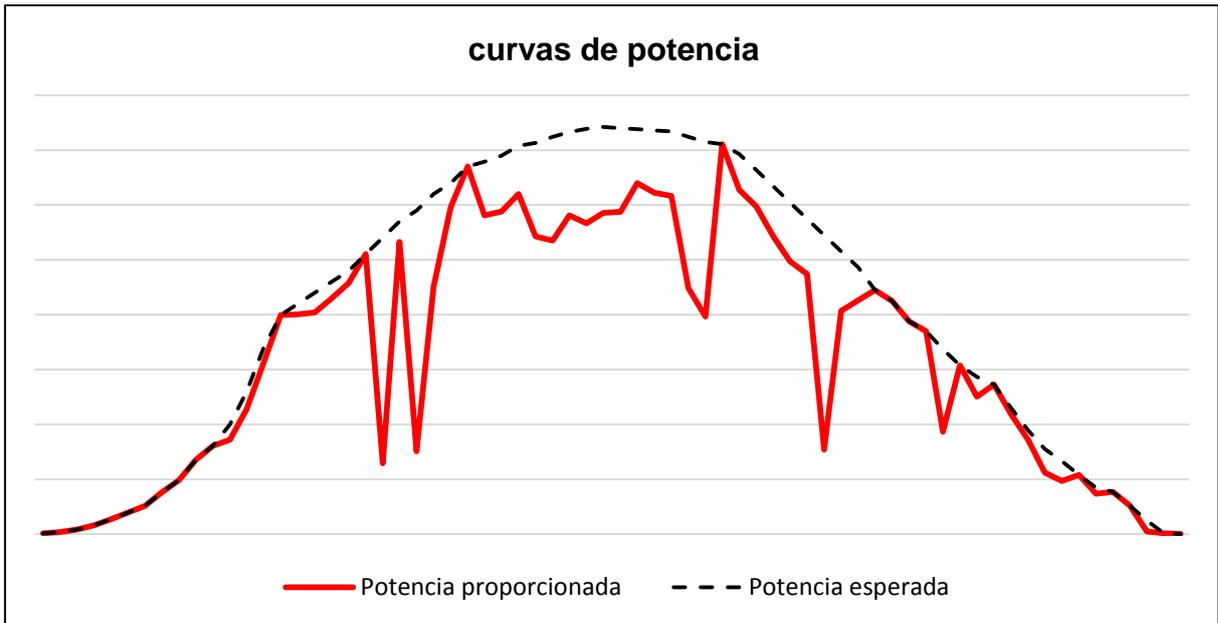


Fig. 5.7 Curva de la potencia proporcionada y esperada  
Fuente: elaborada por los autores

### 5.1.2.2 Aproximación de la energía proporcionada por el sistema fotovoltaico

Para aproximar la energía proporcionada por el sistema, se utilizó el método de Simpson representado por la ecuación 19 [45].

$$I = \int_a^b f(x)dx \approx (b - a) \left[ \frac{f(x_0) + 4f(x_1) + f(x_2)}{6} \right] \quad (19)$$

Reemplazando en (19) los límites de integración por la hora, y, los argumentos por los significados de la potencia, se obtiene entonces la expresión (20):

$$E \approx \int_{t_0}^{t_2} P(t)dt \approx (t_2 - t_0) \left[ \frac{P(t_0) + 4P(t_1) + P(t_2)}{6} \right] \quad (20)$$

Tabla 5.1 Datos de potencia

<b>Símbolo</b>	<b>Potencia obtenida (W)</b>	<b>Hora</b>
Pi1	0,007	6:45
Pi2	0,122	6:50
P1	0,367	7:00
P2	0,858	7:10
P3	1,595	7:20
P4	2,702	7:30
P5	3,936	7:40
P6	5,170	7:50
P7	7,663	8:00
P8	9,780	8:10
P9	13,527	8:20
P10	16,061	8:30
P11	17,195	8:40
P12	22,750	8:50
P13	31,291	9:00
P14	39,936	9:10
P15	40,052	9:20
P16	40,424	9:30
P17	42,968	9:40
P18	45,745	9:50
P19	51,051	10:00
P20	12,908	10:10
P21	53,288	10:20
P22	15,092	10:30
P23	45,049	10:40
P24	59,528	10:50
P25	66,977	11:00
P26	58,116	11:10
P27	58,782	11:20
P28	62,014	11:30
P29	54,273	11:40
P30	53,505	11:50
P31	58,073	12:00
P32	56,650	12:10
P33	58,565	12:20
P34	58,724	12:30
P35	63,998	12:40
P36	62,225	12:50
P37	61,640	13:00
P38	44,819	13:10
P39	39,627	13:20
P40	71,101	13:30
P41	62,742	13:40
P42	59,749	13:50
P43	54,272	14:00
P44	49,748	14:10
P45	47,376	14:20
P46	15,370	14:30
P47	40,682	14:40

P48	42,632	14:50
P49	44,472	15:00
P50	42,510	15:10
P51	38,808	15:20
P52	36,979	15:30
P53	18,648	15:40
P54	30,727	15:50
P55	25,057	16:00
P56	27,237	16:10
P57	21,845	16:20
P58	17,294	16:30
P59	11,220	16:40
P60	9,675	16:50
P61	10,812	17:00
P62	7,354	17:10
P63	7,729	17:20
P64	5,187	17:30
P65	0,504	17:40
P66	0,126	17:50
Pf	0,006	18:00

Fuente: elaborado por los autores

Considerando la información de la Tabla 5.1, la expresión (20) se transforma en:

$$\begin{aligned}
E \approx & \left\{ \left( \frac{P_{i1} + 2P_{i2}}{12} \right) + \left[ (0,5 - 0) \frac{P_1 + 4P_2 + P_3}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_4 + 4P_5 + P_6}{6} \right] \right. \\
& + \left[ (0,5 - 0) \frac{P_7 + 4P_8 + P_9}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_{10} + 4P_{11} + P_{12}}{6} \right] \\
& + \left[ (0,5 - 0) \frac{P_{13} + 4P_{14} + P_{15}}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_{16} + 4P_{17} + P_{18}}{6} \right] \\
& + \left[ (0,5 - 0) \frac{P_{19} + 4P_{20} + P_{21}}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_{22} + 4P_{23} + P_{24}}{6} \right] \\
& + \left[ (0,5 - 0) \frac{P_{25} + 4P_{26} + P_{27}}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_{28} + 4P_{29} + P_{30}}{6} \right] \\
& + \left[ (0,5 - 0) \frac{P_{31} + 4P_{32} + P_{33}}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_{34} + 4P_{35} + P_{36}}{6} \right] \\
& + \left[ (0,5 - 0) \frac{P_{37} + 4P_{38} + P_{39}}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_{40} + 4P_{41} + P_{42}}{6} \right] \\
& + \left[ (0,5 - 0) \frac{P_{43} + 4P_{44} + P_{45}}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_{46} + 4P_{47} + P_{48}}{6} \right] \\
& + \left[ (0,5 - 0) \frac{P_{49} + 4P_{50} + P_{51}}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_{52} + 4P_{53} + P_{54}}{6} \right] \\
& + \left[ (0,5 - 0) \frac{P_{55} + 4P_{56} + P_{57}}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_{58} + 4P_{59} + P_{60}}{6} \right] \\
& + \left. \left[ (0,5 - 0) \frac{P_{61} + 4P_{62} + P_{63}}{6} + (1 - 0,5) \frac{P_{64} + 4P_{65} + P_{66}}{6} \right] + \frac{P_f}{6} \right\}
\end{aligned}$$

$$E \approx \{(0,021) + (0,449 + 1,968) + (5,026 + 8,966) + (19,257 + 21,503) + (12,997 + 21,235) \\ + (29,852 + 27,718) + (28,603 + 31,412) + (23,379 + 31,818) + (25,053 + 18,394) \\ + (21,110 + 11,858) + (12,988 + 5,987) + (3,997 + 0,611) + (0,009)\}$$

Entonces, la energía aportada por el sistema en el día de monitoreo, se aproxima a:

$$E \approx 364.211 \text{ Wh/día}$$

### 5.1.2.3 Relación del comportamiento de la potencia proporcionada con la variación de la radiación solar

Con la intención de establecer el origen de los valles en la curva de potencia proporcionada, se obtuvo información sobre la radiación solar el día del monitoreo. La Fig. 5.8 muestra los datos de radiación solar, recolectados por la estación meteorológica del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil de la UTPL, ubicada en el sitio Jipiro Alto. Aunque la estación se encuentra a casi 2 Km de distancia, es la única con la información requerida.

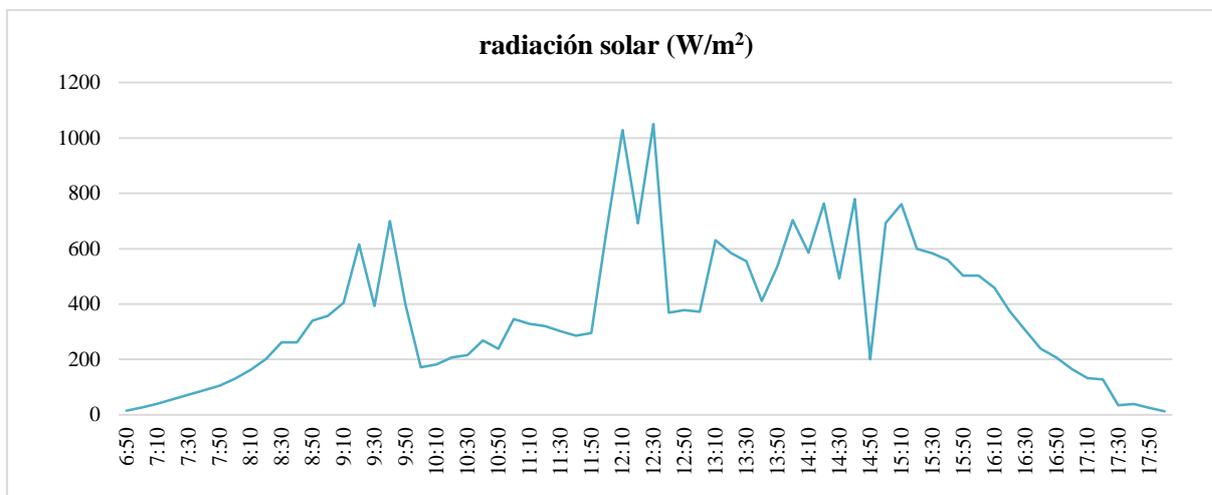


Fig. 5.8 Gráfica de radiación solar media en la estación Jipiro Alto del Departamento de geología y Minas e Ingeniería Civil de la UTPL, el día 4 de julio de 2013

Fuente: elaborado por los autores

En la Fig. 5.9, es la relación entre los valores de radiación solar media con los de potencia proporcionada. Es necesario recalcar el alto grado de correlación de las variables, razón por la cual se puede afirmar que la potencia proporcionada es directamente dependiente del significado de la radiación solar media.

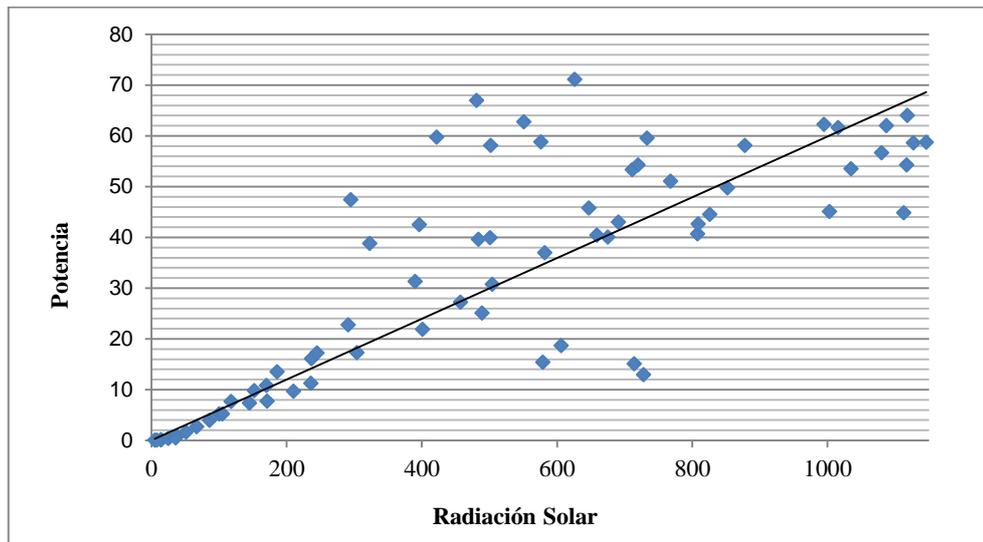


Fig. 5.9 Relación entre radiación solar y potencia  
Fuente: elaborado por los autores

### 5.1.3 Desempeño del bloque de transferencia y de storage

Para evaluar el desempeño del bloque de transferencia, se conectó al sistema una carga de tal manera que se llevó la batería a su umbral de descarga. En este punto, el bloque de transferencia reorganizó la alimentación de la carga, desde la entrada de energía de respaldo (red eléctrica pública). Los resultados mostraron un 100% de efectividad.

Para verificar que el funcionamiento del módulo de storage del sistema PV, se alimentó las iluminarias desde las baterías. Los resultados mostraron que el sistema abastece de forma autónoma a la carga durante 5 horas, en correspondencia a los requerimientos de diseño.

## CONCLUSIONES

- En el marco general de la iniciativa, se ha propuesto diseñar e implementar una isla del conocimiento, en la que, la tecnología de provisión de energía aproveche fuentes renovables, y, forme parte integral del diseño de la isla.
- El análisis de los resultados de la fase de prefactibilidad, permitió identificar al menos 2 problemas a resolver: el costo de la obra arquitectónica, y, el costo de implementación del sistema de provisión de energía.
- En el marco de la fase de factibilidad del proyecto, se decidió abordar la reducción de los costos de implementación del sistema de provisión de energía, al margen de la búsqueda de mejores opciones para la construcción de la isla.
- Para reducir los costos de implementación del sistema de provisión de energía, se planteó dos iniciativas de ejecución simultánea: redefinir la arquitectura y redimensionar los componentes del sistema de provisión de energía.
- El equipo de trabajo decidió minimizar la inversión en infraestructura arquitectónica, razón por la cual se propuso la construcción de una estructura metálica mínima, capaz de proveer la superficie de cubierta requerida para la ubicación de las láminas solares, y, con un espacio interior suficiente para la instalación del resto de equipos, y, para la realización de pruebas de desempeño del sistema.
- Se propuso que el bloque de fuerza se provea de energía desde la red pública, y, que el bloque de iluminación se abastezca desde un sistema híbrido con base en energía solar. Por cuanto, la isla experimental se ubicó en las cercanías de un aerogenerador experimental, se sugirió utilizar la energía generada en él, como la segunda opción del sistema híbrido.
- Para dimensionar y preseleccionar los equipos a utilizar en el sistema de provisión de energía fotovoltaica para iluminación de una isla experimental a implementar en el Campus San Cayetano de la UTPL, se utilizó la metodología sugerida por el Ministerio de electricidad y energía renovable del Ecuador, en el atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica.

- Se seleccionó lámparas LED para iluminar la isla, debido a su bajo consumo de energía.
- La demanda diaria de energía requerida por la isla se estimó en 250Wh/día.
- La radiación solar para la ciudad de Loja se consideró en 4,5 KWh/m<sup>2</sup> anual.
- El módulo de conmutación apoya la provisión constante e interrumpida de energía al bloque de iluminación. Desde la perspectiva del control automático, el módulo responde a la variable “nivel de energía disponible en las baterías”, que caracteriza al módulo de storage del sistema.
- Al pasar el voltaje de los bornes de las baterías a través del umbral definido, en la dirección de descarga, el circuito detector de nivel emite una señal “activa”, cuya duración en el tiempo no es suficiente para activar el conmutador. Por esta razón, se decidió instalar un temporizador para mantener la señal.
- Para la integración de los circuitos de detección de nivel de carga, y, de temporización y conmutación, se incluyeron nuevos elementos. Un capacitor de 220  $\mu$ F, y, un regulador de voltaje LM7805, para alimentar al PIC con un voltaje de 5V. El potenciómetro POT 2 de 100K $\Omega$ , ajusta el voltaje de la señal activo, desde el detector hacia la entrada del PIC, a 5V.
- Considerando la forma de la cubierta de la isla experimental, y, su ubicación respecto al Sol, se decidió ubicar las láminas solares de forma perpendicular a la cubierta, a ambos lados de la línea de división de aguas. Las láminas solares se aseguran a la cubierta a través de 6 cáncamos, que proporcionan sujeción y separan la lámina de la cubierta, creando una zona de ventilación natural. De acuerdo a los datos técnicos, las láminas solares utilizadas, tienen su mejor desempeño a una temperatura ambiente de trabajo a 25°C.
- El tipo de cable para conectar las láminas con la batería, a través del controlador de carga; y, el controlador con las luminarias, se seleccionó de acuerdo a los requerimientos eléctricos de ampacidad, caída de voltaje, y, seguridad en cada parte del sistema.

- Para la selección de los cables de conexión entre los dispositivos del sistema de provisión de la isla, se utilizó una tabla de caída de tensión sugerida por Green Empowerment, en busca de garantizar que la caída de tensión no sea mayor al 2%.
- Para identificar los cables de interconexión, se decidió aplicar el método de colores sugerido por la norma NOM-001-SEDE-2005.
- Para protección de sobrecorriente, el cable de tierra se conectó con el neutro mediante un puente de unión. Esto permite que al presentarse una falla a tierra, se produzca un cortocircuito que haga operar el dispositivo de protección del circuito.
- Para iluminación se utilizó 4 lámparas PowerLED de 10W, activadas a través de 1 sensor infrarrojo de movimiento tipo deko SR017. Las lámparas se instalaron en boquillas rotables, para compensar el desnivel del suelo. Las luminarias se conectaron con cable AWG #14, en correspondencia a la norma ecuatoriana de la construcción NEC-11 de energías renovables.
- Para cuantificar la inversión realizada en la instalación del sistema híbrido de provisión de energía a la isla de experimental, se consideró rubros como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje.
- En este trabajo fue posible la construcción de una curva de potencia proporcionada por las láminas solares.
- En el intervalo de observación, el voltaje en los bornes del arreglo de láminas se mantuvo casi constante, por lo que la forma de la curva de potencia corresponde a la de la corriente.
- La gráfica de potencia proporcionada tuvo un comportamiento semejante a la curva de potencia esperada, pero con valles de corta duración, debidos presumiblemente a variación de la radiación solar sobre las láminas PV.
- Como era de esperar, el análisis de correlación muestra un alto grado de dependencia entre la potencia proporcionada y la radiación solar media.
- La energía provista por el sistema se aproximó a 364Wh/día, a través del cálculo del área bajo la curva de potencia proporcionada, utilizando el método de Simpson.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para obtener una mayor eficiencia del sistema de provisión de energía se reemplace la batería en un lapso máximo de 10 años.
- Si se requiere encender las lámparas en el día, se recomienda primero apagar el breaker y luego ajustar el sensor manualmente hacia el símbolo de Sol.
- Para trabajos futuros se recomienda implementar un sistema de telemetría para la gestión y monitoreo de los equipos de generación fotovoltaica, con el propósito de obtener valores reales en la producción de energía que se tiene en el año.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] "Ideas jóvenes". Islas de estancia universitarias. Escuela de Arquitectura. UTPL
- [2] "SOLAR IVY: Una enredadera de Energía solar". Paisajismo Digital [Online]: Disponible en: <<http://paisajismodigital.com/blog/?p=4660> > [Consulta Mayo de 2012].
- [3] "SOLAR IVY: Enredadera de energía solar". [Online]: Disponible en: <<http://nadanoslibradeescorpio.blogspot.com/2011/09/solar-ivy-enredadera-de-energia-solar.html>>
- [4] No se reconoce autor. "Láminas fotovoltaicas". [Online]: Disponible en: <<http://www.energiafotovoltaica.ws/aplicaciones/laminas-fotovoltaicas.html>> [Consulta Mayo de 2012].
- [5] "Paneles fotovoltaicos orgánicos y CIGS". [Online]: Disponible en: < [http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/1\\_Nuevas\\_Tecnologias\\_Solares/16\\_Paneles\\_fotovoltaicos\\_organicos\\_y\\_CIGS.html](http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/1_Nuevas_Tecnologias_Solares/16_Paneles_fotovoltaicos_organicos_y_CIGS.html)> [Consulta Mayo de 2012].
- [6] "Proyecto SIMEC CHILE SRL". [Online]: Disponible en: <[http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto\\_Simec\\_Chile.pdf?1287789602](http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto_Simec_Chile.pdf?1287789602)> [Consulta Mayo de 2012].
- [7] M. Delgado; E. Córdova. "Diseño de Tipo Isla del Conocimiento". Departamento de Arquitectura y Arte. Universidad Técnica Particular de Loja.
- [8] "Método de los lúmenes o factor de utilización". [Online]: Disponible en: <<http://edison.upc.edu/curs/llum/iluminacion-exteriores/vias-publicas-calculo.html> > [Consulta Julio de 2012].
- [9] "Bombilla LED SP80B,". ProViento S.A [Online]: Disponible en: <<http://www.proviento.com.ec/SP80Bec.pdf>> [Consulta Julio de 2012].
- [10] "Diseño de un sistema híbrido de provisión de energía para las Islas de descanso en el campus UTPL" [Online]. Disponible en: <<http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/Tesis%20Fierro%20Castillo%20Priscila%20del%20Rocio.pdf>> [Consulta Enero 2013]
- [11] No se reconoce autor. "Consumo indicativo de algunos artefactos eléctricos: computadora". [Online]: Disponible en: <[http://www.enre.gov.ar/web/web.nsf/Files/consumos.pdf/\\$FILE/consumos.pdf](http://www.enre.gov.ar/web/web.nsf/Files/consumos.pdf/$FILE/consumos.pdf)> [Consulta Julio de 2012].
- [12] P. Fierro; D. Castillo; v. Maldonado; C. Romero. L. Riofrío. "Iluminación Fotovoltaica de pasillos". Teoría de Control Automático. Universidad Técnica Particular de Loja. [Consulta Agosto de 2012].

- [13] E. Gutiérrez, D. Aguirre, J. Carpio, J. Jaramillo. "Sistemas mixtos fotovoltaicos-energía eléctrica convencional para iluminación: dimensionamiento del componente fotovoltaico". [Online]: Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/81052965/dimensionamiento-de-los-PFV-en-un-sistema-hibrido-fotoelectrico>> [Consulta 20 Agosto de 2012].
- [14] 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) > Pág. (8-9) [Consulta Agosto de 2012].
- [15] "Inversor: TEP-300W /12 VDC a 110 VAC". [Online]: Disponible en: < <http://spanish.alibaba.com/product-gs/300w-12vdc-to-110vac-off-grid-solar-power-inverter-558883666.html> > [Consulta Septiembre de 2012].
- [16] MORNINGSTAR. "Controlador de carga ProStar PS-15". [Online]: Disponible en: < [http://www.proviento.com.ec/PS\\_DataSheet.pdf](http://www.proviento.com.ec/PS_DataSheet.pdf) > [Consulta Septiembre de 2012].
- [17] No se reconoce autor. "Sistemas FV's Mixtos e Híbridos". [Online]: Disponible en: < <http://www.enalmex.com/docpdf/libro/ch11.pdf.pdf> > [Consulta Octubre de 2012].
- [18] GLOBAL SOLAR. "Laminas Power Flex BIPV 82 W". [Online]: Disponible en: < <http://www.directindustry.es/prod/global-solar/modulos-fotovoltaicos-cigs-de-capas-finas-20893-777295.html> > [Consulta Octubre de 2012].
- [19] PROVIENTO. "Inversores y baterías solares". [Online]: Disponible en: <<http://www.proviento.com.ec/>> [Consulta Octubre de 2012].
- [20] MORNINGSTART. "Controladores Morningstar ProStar 15". [Online]: Disponible en: < <http://www.proviento.com.ec/>> [Consulta Octubre de 2012].
- [21] "Inversor TEP-300W". [Online]: Disponible en: < [http://www.alibaba.com/product-gs/491714843/300w\\_solar\\_inverter\\_for\\_home\\_use.html](http://www.alibaba.com/product-gs/491714843/300w_solar_inverter_for_home_use.html)> [Consulta Octubre de 2012].
- [22] "Conmutador VAC2/S-15E". [Online]: Disponible en: <<http://www.proveedoresmineros.com/squared.pdf> > [Consulta Octubre de 2012].
- [23] "Bombilla LED SP80B/10W". [Online]: Disponible en: < <http://www.proviento.com.ec/>> [Consulta Octubre de 2012].
- [24] A. Barraqueta. "Ingeniería preliminar de opciones de aprovechamiento de energía de fuentes renovables (no convencionales) para implementación en la ampliación del campus San Cayetano de la UTPL: Harvesting de energía en la ampliación del campus San Cayetano de la UTPL". [Online]: Disponible en: <<http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/3027/1/Tesis%20Barraqueta%20Mendieta%20Astrid%20Eunice.pdf> > [Consulta Octubre de 2012].
- [25] IDEA. "Energía Solar Fotovoltaica: pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a Red". [Online]: Disponible en: <[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_5654](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_5654)>

- \_FV\_pliego\_condiciones\_tecnicas\_instalaciones\_conectadas\_a\_red\_C20\_Julio\_2011\_3498eaaf.pdf> [Consulta Octubre de 2012].
- [26] C. Orbezo; R. Arivilca. "Manual técnico para instalaciones domiciliarias". Green Energy Consultoría y Servicios SRL. [Online]: Disponible en: <[http://energiaverde.pe/wp-content/uploads/2010/06/Manual\\_ES\\_Fotovoltaica.pdf](http://energiaverde.pe/wp-content/uploads/2010/06/Manual_ES_Fotovoltaica.pdf)> [Consulta Octubre de 2012].
- [27] "PowerFilm 28 Watts Rollable Solar". [Online]: Disponible en: <<http://www.powerfilmsolar.com/products/?r28&show=product&productID=271518&productCategoryIDs=6578>> [Consulta Junio de 2013].
- [28] "Batería Ritar RA12-40". [Online]: Disponible en: <<http://www.ritarpower.com/upload/pdf/2013022710222660161774.pdf>> [Consulta Junio de 2013]
- [29] "Controlador de carga Phocos CML10". [Online]: Disponible en: <[http://www.phocos.com/ppi/acrobat/Datasheet\\_CML\\_V2\\_ESP.pdf](http://www.phocos.com/ppi/acrobat/Datasheet_CML_V2_ESP.pdf)> [Consulta Junio de 2013].
- [30] "Inversor Avtec IN-300". [Online]: Disponible en: <<http://www.datastore.com.ve/inversor-portatil-avtek-300w-c-pto-usb-in-300-avtek>> [Consulta Junio de 2013].
- [31] "Cálculo según el método de los lúmenes", [Online]. Disponible en: <<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12833/art%C3%ADculo%20docente%20C%C3%A1lculo%20m%C3%A9todo%20de%20los%20l%C3%BAmenes.pdf?sequence=3>> [Consulta Junio 2013]
- [32] Voltimum, S.A, "Iluminación para interiores - Norma UNE 12464", Barcelona - España. [Online]. Disponible en: <<http://www.voltimum.es/news/625/cm/iluminacion-parainteriores--norma-une-12464-1--comprenderla-es-aprovecharla.html>> [Consulta Junio de 2013].
- [33] "Solar Technology Energía Solar El Salvador" [Online]: Disponible en: <<http://technologysolar.blogspot.com/>> [Consulta abril de 2013]
- [34] Domingo C. Guarnaschelli. "Procesos de Señales Eléctricas con Amplificadores Operacionales". UTN. Facultad Regional Santa Fe [Online]: Disponible en: <[http://www.frsf.utn.edu.ar/matero/visitante/bajar\\_apunte.php?id\\_catedra=141&id\\_apunte=3648](http://www.frsf.utn.edu.ar/matero/visitante/bajar_apunte.php?id_catedra=141&id_apunte=3648)> [Consulta abril 2013]
- [35] NEW WAVE CONCEPTS. "Software de simulación electrónico Livewire". [Online]: Disponible en: < <http://www.new-wave-concepts.com> > [Consulta abril de 2013]
- [36] Rueda Luis. "Transistores en circuitos de conmutación". Disponible en: <<http://paisajismodigital.com/blog/?p=4660>> [Consulta abril de 2013]

- [37] NEW WAVE CONCEPTS. “Software de diseños electrónicos PCB Wizard”. [Online]: Disponible en: <<http://www.new-wave-concepts.com>> [Consulta abril de 2013]
- [38] Norma Ecuatoriana NEC-11, Capitulo 14, Energías Renovables, 06 de Abril del 2011. [Consulta julio de 2013].
- [39] “Manual de capacitación de sistemas fotovoltaicos”. [Online]: Disponible en: <<http://cenicasol.chica.org.ni/wpcontent/uploads/2011/09/Peru-manual-Espanol1.pdf>> [consulta julio de 2013]
- [40] “Tabla de caída de tensión de Green Empowerment”. [Online]: Disponible en: <<http://cenicasol.chica.org.ni/wp-content/uploads/2012/09/Voltage-Drop-Sheets-Espanol.xls>> [Consulta julio 2013]
- [41] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización), Secretaria de Energía, México. [Consulta julio 2013]
- [42] “Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión”. [Online]: Disponible en: <<http://www.uv.mx/personal/jdominguez/files/2012/10/Manual-de-Instalaciones-Elctricas-en-BT-2009.pdf>> [Consulta julio 2013]
- [43] Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. “Guía para la preparación de anteproyectos de energía solar fotovoltaica” [Online]: Disponible en: <<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2239/1/CD-2536.pdf>> [consulta julio 2013]
- [44] “Datasheet de multímetro Truper” [Online]: Disponible en: <<http://www.truper.com/pdf/manuales/10403.pdf>> [Consulta julio de 2013]
- [45] “Integración Numérica: Método de Simpson” [Online]: Disponible en: <<https://sites.google.com/site/metodos0123/unidad-5-derivacion-e-integracion-numerica/5-2-integracion-numerica-metodo-del-trapecio-metodos-de-simpson-1-3-y-3-8>> [Consulta julio de 2013]

**ANEXOS**

**ANEXO A****CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PARA EL TEMPORIZADOR ELABORADO EN MICRO C**

```
void main(void)
{

int i,a;

PORTC = 0x00; // Estado inicial del puerto PORTC
TRISC = 0b00000011; // Todos los pines del puerto PORTC se configuran como entrada
PORTB = 0x00; // Estado inicial del puerto PORTB
TRISB = 0x00; // Todos los pines del puerto PORTB se configuran como salidas

while(1)
{
PORTB=0b00000001;
delay_ms(250);
PORTB=0b00000000;
delay_ms(250);

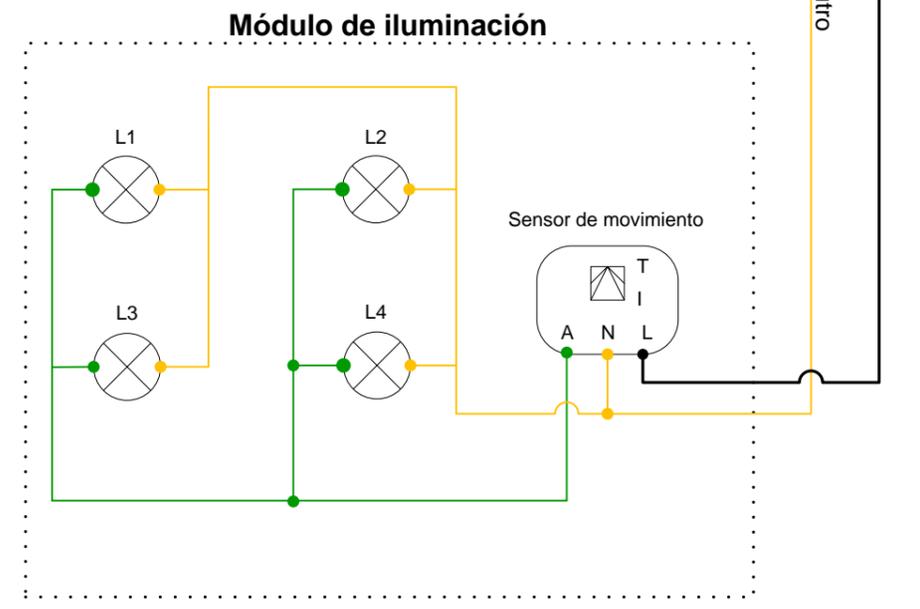
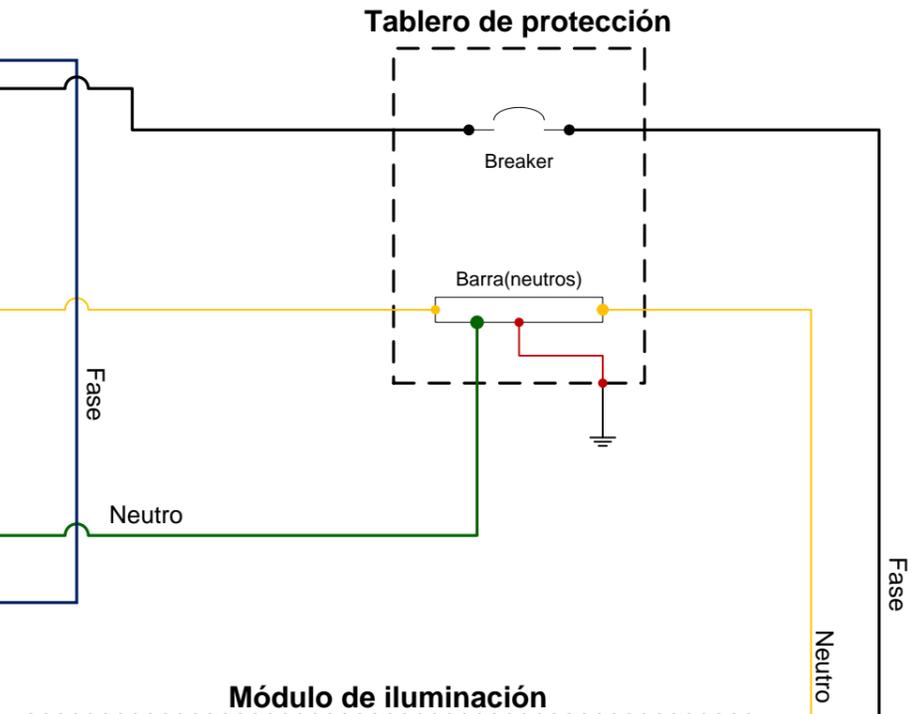
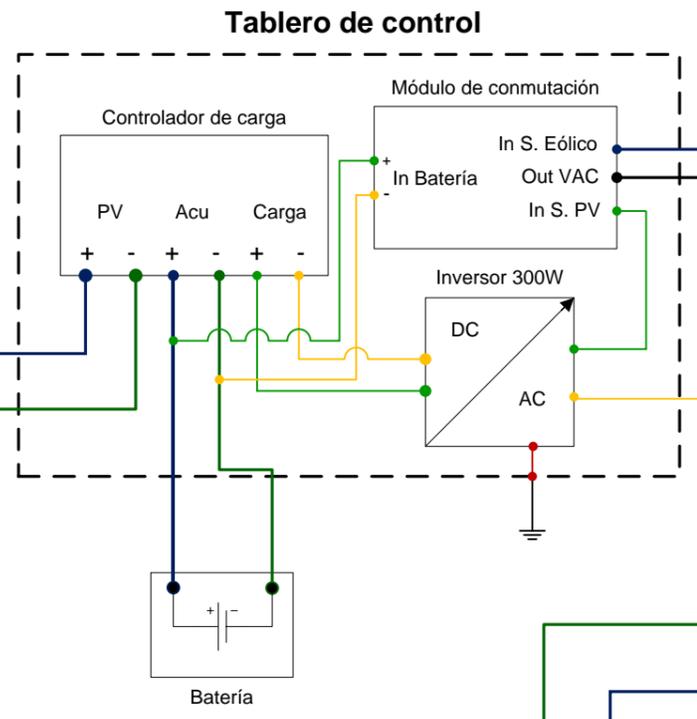
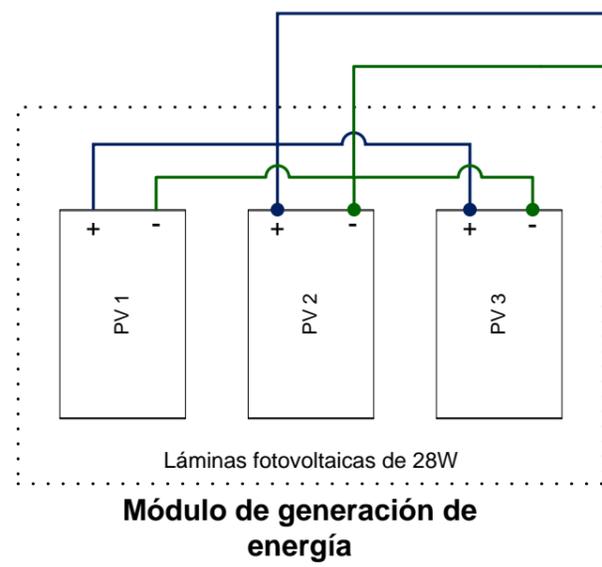
if (Button(&PORTC, 0,1,1))
{
for (i=0;i<=3600;i++)
{delay_ms(1000);
if(i>=4){PORTB=0b00000011;}
if(i<=3){PORTB=0b00000000;}
}

}

}

}
```

**ANEXO B****ESQUEME GENERAL DE CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA HÍBRIDO PARA  
LA ILUMINACIÓN DE LA ISLA**



**Simbología**

	Cable sólido AWG #12
	Cable sólido AWG #12
	Cable sólido AWG #12
	Cable sólido AWG #14
	Cable sólido AWG #14
	Cable de hilos AWG #14
	Batería 12V/40Ah
	Puesta a tierra
	Breaker 15A
	Sensor de movimiento por infrarrojos
	Lámpara LED de 10W
	Sistema eólico

<b>TÍTULO:</b> IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE PROVISIÓN DE ENERGÍA PARA ILUMINACIÓN DE UNA ISLA EXPERIMENTAL EN EL CAMPUS UTPL		
<b>CONTENIDO:</b> Esquema general de las conexiones eléctricas del sistema híbrido		
<b>REVISADO:</b> Ing. Jorge Luis Jaramillo	<b>AUTORES:</b> Rodrigo Cueva Alex Guamán	
<b>FECHA:</b> 2013/09/04	<b>NÚMERO:</b> 1/1	<b>ESCALA:</b> 1:20

**ANEXO C**

**PAPER: IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA HÍBRIDO DE PROVISIÓN DE ENERGÍA PARA  
ILUMINACIÓN DE UNA ISLA EXPERIMENTAL EN EL CAMPUS UTPL**

# Implementación de sistema híbrido de provisión de energía para iluminación de una isla experimental en el campus UTPL

Alex Guamán<sup>#1</sup>, Rodrigo Cueva<sup>#2</sup>, Jorge Luis Jaramillo<sup>#3</sup>

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

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

<sup>1</sup>[apguaman@utpl.edu.ec](mailto:apguaman@utpl.edu.ec), <sup>2</sup>[rcueva@utpl.edu.ec](mailto:rcueva@utpl.edu.ec), <sup>3</sup>[jorgeluis@utpl.edu.ec](mailto:jorgeluis@utpl.edu.ec)

**Resumen**— En este presente trabajo se describe; el diseño de una isla experimental del conocimiento, desde un punto de vista de optimización y eficiencia de recursos, en la que, se presenta una opción económica y solvente en su diseño, y la instalación de un sistema híbrido de provisión de energía para la iluminación de la isla a ubicar en el Campus San Cayetano de la UTPL.

Además, se muestra el diseño del módulo electrónico de conmutación automática entre los dos módulos de abastecimiento, en función del nivel de energía disponible en el módulo de storage, y, se presentan los resultados de la evaluación del desempeño del sistema implementado.

**Palabras claves**— Isla experimental, sistema híbrido, sistema fotovoltaico, sistema de conmutación, monitoreo de sistema fotovoltaico.

## I. INTRODUCCIÓN

Como parte de una serie de iniciativas de I+D+D, para la incorporación de energía de fuentes no convencionales a la matriz energética del campus San Cayetano de la UTPL, en la ciudad de Loja, impulsadas por la Sección de Energía y Electrónica del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, se incluyó el desarrollo e implementación de una isla experimental del conocimiento (isla de descanso) que permita la “recuperación” de espacios en el campus.

En este trabajo los autores hemos propuesto diseñar e implementar un sistema híbrido (solar fotovoltaico – red eléctrica convencional) para provisión de energía a una isla experimental del conocimiento en el campus San Cayetano de la UTPL.

II. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA FASE DE PREFACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA ISLA DEL CONOCIMIENTO PARA EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL

### A. Resultados obtenidos en la fase de análisis de prefactibilidad

Para el análisis de la prefactibilidad de diseñar e implementar islas del conocimiento en el campus de la UTPL, se conformó un equipo de trabajo con integrantes del DCCE y del DAA, bajo responsabilidad de Priscila Fierro, en calidad de tesista del programa de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones [1].

#### Sobre las islas del conocimiento

Una isla de descanso, isla de estancia, o, isla del conocimiento, es un espacio semiabierto con diferentes formas y geometrías representativas, las cuales dan como resultado una estancia múltiple. Este tipo de espacios proporcionan libertad, tanto visual como de movilidad [2].

#### Sobre la provisión de energía a las islas

En la fase de prefactibilidad, se propuso lograr que la tecnología de aprovisionamiento de energía se incluyera en forma integral en el diseño arquitectónico de la isla. Con este objetivo, se estudió distintas tecnologías de provisión de energía existentes en el mercado.

#### **Módulos fotovoltaicos de película delgada CIGS**

Las células fotovoltaicas de película delgada, basadas en micro estructuras CIGS (Cobre Indio Galio Selenio), los paneles CIGS son una solución liviana, resistente a los vientos, y, muy económica [3] [4].

#### Concepción arquitectónica para el diseño de la isla

Considerando la energía requerida para proveer a la isla, se propuso el uso de un sistema híbrido, en el que

tanto los equipos y dispositivos del sistema híbrido de generación.

Desde la DI de la UTPL, se solicitó considerar como potencial emplazamiento de la propuesta, el área contigua al monumento conocido como La Cruz, comprendida entre el Octógono y el edificio de aulas 3 (ver Fig. 2) [5].

EL DAA UTPL propuso entonces una isla con cubierta triangular, en la que se alojan tres estancias, con mobiliario circular y compacto, que concuerda con la idea de agrupación propuesta (ver Fig. 1).



Fig. 1. Vista frontal de la isla de descanso propuesta (diseño preliminar). Departamento de Arquitectura y Arte UTPL [5]

#### Dimensionamiento de los requerimientos de carga en la isla de descanso

##### **Requerimientos de carga para iluminación**

El consumo diario de energía en las bombillas LED, considerando un régimen promedio de funcionamiento entre las 18h00 y las 22h00.

$$E_c = 480 \text{ Wh/día}$$

##### **Requerimientos de carga para alimentar equipos portables**

El consumo diario de energía de las laptops, en el período entre 08h00 y 22h00 es de:

$$E_{cp} = 42000 \text{ Wh/día}$$

##### **Requerimientos totales de carga**

A los requerimientos de carga para iluminación y para provisión de energía a los dispositivos portables, se les suma una reserva equivalente al 30 %, para cubrir cualquier demanda adicional. Por lo tanto, la energía total requerida en la isla de descanso es:

$$E_r = 55224 \text{ Wh/día}$$

#### Dimensionamiento de un sistema PV para provisión de energía a la isla de descanso

La Tabla 1, resume los resultados obtenidos al cuantificar la energía requerida para iluminarias, y, para cubrir una reserva del 30%, en cada isla.

**Tabla 1**

Consumo de energía para la isla de descanso

Iluminación	480Wh/día
Periodo: 18h00/ 22h00	
Reserva de energía (30%)	144 Wh/día
Consumo total de energía	624 Wh/día 18720 Wh/mes 6832.8 KWh/año

#### Presupuesto de inversión

La Tabla 2, resume los costos totales de implementación del sistema híbrido de provisión de energía para las islas de descanso.

**Tabla 2**

Costos totales de implementación del sistema híbrido de provisión de energía para las islas de descanso.

Costos de equipos (USD)	1899.00
Costos de instalación (USD)	700.00
Costos de mantenimiento (USD)	450.00
Costos de explotación (USD)	3180.00
Imprevistos, 5%	311.45
<b>Inversión total (USD)</b>	<b>6540.45</b>

La inversión total para implementar una isla de descanso en el campus San Cayetano de la UTPL es de **6540,45 USD**.

#### *B. Potenciales problemas detectados y definición de objetivos para los estudios de la fase de factibilidad*

El análisis de los resultados de la fase de prefactibilidad, permitió identificar al menos 2 problemas a resolver:

- El costo de la obra arquitectónica.
- El costo de implementación del sistema de provisión de energía

En el marco de la fase de factibilidad del proyecto, se decidió abordar la reducción de los costos de implementación del sistema de provisión de energía, al margen de la búsqueda de mejores opciones para la construcción de la isla.

Para cumplir con el objetivo propuesto, se planteó dos iniciativas de ejecución simultánea:

- Redefinir la arquitectura del sistema de provisión de energía, con el propósito de limitar la carga a abastecer.
- Redimensionar los componentes del sistema de provisión de energía, y, en lo posible asumir el diseño y construcción de los dispositivos y equipos requeridos.

### III. OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE PROVISIÓN DE ENERGÍA A UNA ISLA EXPERIMENTAL PARA EL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL

#### A. Requerimientos planteados para la isla experimental

##### Diseño arquitectónico de la isla experimental

El equipo de trabajo decidió minimizar la inversión en infraestructura arquitectónica, razón por la cual se propuso la construcción de una estructura metálica mínima, capaz de proveer la superficie de cubierta requerida para la ubicación de las láminas solares, y, con un espacio interior suficiente para la instalación del resto de equipos, y, para la realización de pruebas de desempeño del sistema (ver Fig. 2)



Fig. 2. Estructura metálica construida para la isla experimental

La estructura metálica se construyó con materiales reutilizados. En el centro del espacio limitado por la estructura, se colocó un armario de madera para disposición de equipos, y, para ser utilizado a manera de mobiliario de la isla. La Tabla 3 muestra la geometría de la estructura, información relevante para el cálculo del bloque de iluminación de la isla experimental.

Tabla 3

Geometría de la estructura metálica empleada en la isla experimental.

Parámetro	Dimensión
Largo	5,50 m
Ancho	3 m
Área	16,5 m <sup>2</sup>
Altura	2,53 m
Altura de la mesa	0,7 m
Altura útil	1,83 m

##### Optimización del diseño del sistema de provisión de energía para la isla experimental

Se propuso que el bloque de iluminación se abastezca desde un sistema híbrido con base en energía solar. Por cuanto, la isla experimental se ubicó en las cercanías de un aerogenerador experimental, se sugirió utilizar la energía generada en él, como la segunda opción del sistema híbrido.

El sistema híbrido de provisión de energía propuesto para el bloque de iluminación, está constituido por cinco módulos principales (ver Fig.3)

- Módulo de harvesting de energía
- Módulo de storage de energía
- Módulo de conversión de energía
- Módulo de conmutación
- Módulo de luminarias

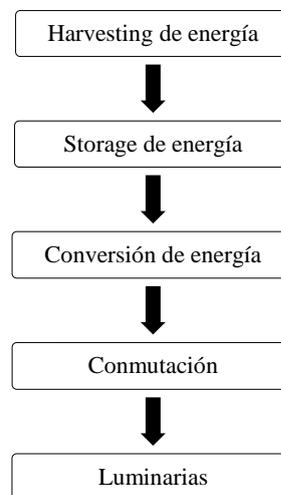


Fig. 3. Arquitectura del sistema híbrido de provisión de energía. [Autores].

##### Redimensionamiento de los componentes del sistema de provisión de energía

En la Fig. 4 se muestra el diagrama de bloques del sistema de provisión de energía para la iluminación de la isla, representada por el harvesting de energía, storage de energía, conversión de energía, módulo de conmutación, sistema de provisión de energía de respaldo, y módulo de iluminación.

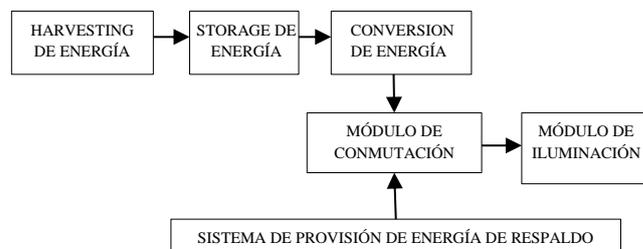


Fig. 4. Diagrama de bloques del sistema híbrido de provisión de energía. [Autores].

### IV. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE PROVISIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA ILUMINACIÓN DE LA ISLA EXPERIMENTAL

#### A. Cálculo de la carga requerida para iluminación de la isla experimental

La carga requerida para iluminación de la isla experimental, dependerá del número y del tipo de luminarias. En el marco de este proyecto, la carga se aproximó con ayuda del método de los lúmenes.

El índice del local (K) depende de la geometría de la isla experimental, y, se determina a través de la ecuación (1):

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} \quad (1)$$

En dónde,

- a, ancho del local, m
- b, largo del local, m
- h, altura útil, m

Considerando la geometría de la isla experimental (ver Fig. 5), el índice del local se estimó en:

$$K = \frac{3 \cdot 5,50}{1,83 (3 + 5,50)}$$

$$K = 1,061$$

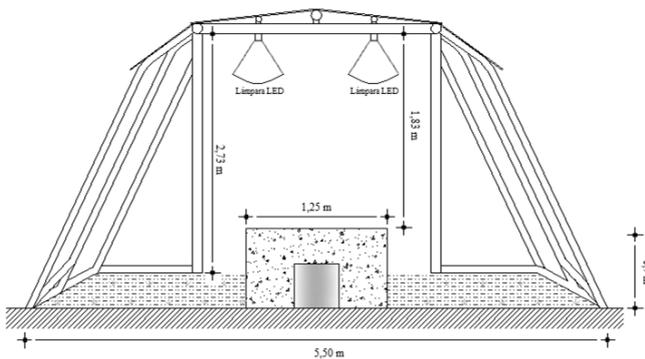


Fig. 5. Vista frontal de la estructura de la isla experimental. [Diseño de los autores].

De acuerdo a la metodología aplicada en este proyecto, la expresión (2) ofrece una buena aproximación para el cálculo del coeficiente de utilización, en dependencia del índice del local y de los coeficientes de reflexión de techo, paredes, y, suelo.

$$Cu = \frac{\sum(\text{datos de corrección del índice de local})}{\text{Nro. de datos}} \quad (2)$$

Los coeficientes de reflexión se encuentran normados para diferentes tipos de materiales, superficies, y, acabados [11].

La data requerida para el numeral de la expresión (2), se obtiene por interpolación de la Tabla 4, tal como lo muestran los recuadros en rojo.

Tabla 4

Datos de corrección de Cu, en dependencia del índice del local [11]

Tabla de corrección						
Techo	0.70	0.70	0.70	0.50	0	
Suelo	0.70	0.50	0.20	0.20	0	
Pared	0.50	0.20	0.20	0.10	0	
k	0.6	77	58	49	48	45
k	1.0	100	77	69	67	63
k	1.5	116	91	84	80	77
k	2.5	129	100	95	90	86
k	3.0	133	103	99	93	89

En definitiva:

$$Cu = \frac{(69 + 67 + 63 + 84 + 80 + 77)}{6}$$

$$Cu = 73,3$$

Para efectos posteriores, Cu adoptará un valor decimal de 0,733.

El coeficiente de mantenimiento depende de la polución ambiental y de la frecuencia de aseo del local (ver Tabla 5).

Tabla 5

Coficiente de mantenimiento anual en función de la polución ambiental [11]

Ambiente	Coficiente de mantenimiento (Cm)
Limpio	0,8
Medio	0,7
Sucio	0,6

Por cuanto la isla experimental es un lugar abierto y expuesto a la polución, el ambiente corresponde al criterio de *sucio*, por lo que el coeficiente de mantenimiento se fijó en 0,6.

El flujo luminoso total se calcula a través de la ecuación (3):

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m} \quad (3)$$

En dónde,

- $\Phi_T$ , flujo luminoso total, lúmenes
- $E_m$ , iluminancia media del lugar, luxes
- S, superficie total de la isla, m<sup>2</sup>
- $C_u$ , coeficiente de utilización, %
- $C_m$ , coeficiente de mantenimiento, unid

En base a la norma UNE EN 12464-11 [12] para iluminación de espacios con presencia ocasional de personas, se consideró una iluminancia media de 200 luxes, por lo que el flujo luminoso total se estimó en:

$$\Phi_T = \frac{200 \cdot 16,5}{0,733 \cdot 0,6}$$

$$\Phi_T = 7503,41 \text{ lúmenes}$$

El número de luminarias requeridas para iluminar la isla experimental, se define con ayuda de la expresión (4):

$$NL = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} \quad (4)$$

En dónde,

- NL, número de luminarias, unid
- n, número de lámparas por cada luminaria, unid
- $\Phi_L$ , flujo luminoso de la lámpara, lúmenes

En función de su disponibilidad en el mercado, se preseleccionó luminarias tipo PowerLed E27 de 10W, cuyo flujo luminoso es de 450 lúmenes. Por lo tanto, el número requerido de luminarias se calculó en:

$$NL = \frac{7503,41}{1 * 450}$$

$$NL = 16$$

Se consideró que el número calculado de luminarias es excesivo, razón por la cual se acordó experimentar con 4 luminarias distribuidas uniformemente en la superficie de la isla.

La potencia total para la iluminación de la isla experimental, corresponde a la requerida para alimentar a cuatro luminarias de 10W y a un sensor de movimiento por infrarrojo de 10W (ver Tabla 6).

**Tabla 6**

Potencia total requerida para la iluminación de la isla experimental

Carga	Cantidad, Unid	Potencia, W
Lámparas	4	10
Sensor	1	10
<b>Potencia total requerida</b>		<b>50</b>

El consumo diario de energía en la carga, se determina con ayuda de la ecuación (5):

$$E_c = P_t * t \quad (5)$$

En dónde,

$E_c$ , energía demandada, Wh/día  
 $P_t$ , potencia total requerida, W  
 $t$ , tiempo de funcionamiento, h

Se consideró un régimen de trabajo de 5h diarias, por lo que el consumo diario de energía en la carga se estimó en:

$$E_c = 50 * 5$$

$$E_c = 250 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

#### B. Dimensionamiento de los equipos requeridos para el sistema de provisión de energía de la isla

La carga diaria de corriente se determina a través de la ecuación (6):

$$I_{DC} = \frac{E_c}{T_{CC}} \quad (6)$$

En dónde,

$I_{DC}$ , carga diaria de corriente, Ah  
 $T_{CC}$ , tensión de corriente continua del sistema, V

Se decidió que el sistema operará en 12V. La carga diaria de corriente se calculó entonces en:

$$I_{DC} = \frac{250}{12}$$

$$I_{DC} = 20,83 \text{ Ah}$$

La carga de corriente corregida, se obtiene mediante la expresión (7):

$$I_{cc} = I_{CD} * fs \quad (7)$$

En dónde,

$I_{cc}$ , carga de corriente corregida, Ah  
 $fs$ , factor de seguridad, %

$$I_{cc} = 16,67 \text{ Ah} * 1,2$$

$$I_{cc} = 25 \text{ Ah}$$

La corriente pico del sistema se calcula a partir del valor de la radiación solar media en la región, de acuerdo a la expresión (8):

$$I_p = \frac{I_{cc}}{I_{CDm}} \quad (8)$$

En dónde,

$I_p$ , corriente pico del sistema, A  
 $I_{CDm}$ , radiación solar media, KWh/m<sup>2</sup>

Según el atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica [13], la ciudad de Loja registra una radiación solar promedio anual de 4,5 KWh/m<sup>2</sup>. Entonces, la corriente pico del sistema se estimó en:

$$I_p = \frac{25}{4,5}$$

$$I_p = 5,55 \text{ A}$$

#### Dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos

El arreglo de módulos solares requerido, se determina de acuerdo a la ecuación (9):

$$A_m = \frac{I_p}{I_{pm}} \quad (9)$$

En dónde,

$A_m$ , arreglo de módulos en paralelo, unid  
 $I_{pm}$ , intensidad pico de la lámina, A

En la isla experimental se instaló láminas solares tipo PowerFilm 28W Rollable Solar, disponibles en la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL. De acuerdo a la hoja de datos, estas láminas tienen una corriente pico de 1,8 A, y trabajan a 15V [14]. Por lo tanto, el arreglo requerido de módulos se calculó en:

$$A_m = \frac{5,55}{1,8}$$

$$A_m = 3,083$$

La tensión de corriente continua nominal, se obtiene con ayuda de la ecuación (10):

$$T_{CCn} = \frac{T_{CC}}{T_{CCl}} \quad (10)$$

$$C_{cbb} = \frac{25}{0,7}$$

En dónde,

$$C_{cbb} = 35,71 \text{ Ah}$$

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

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

$$T_{CCn} = 0,8$$

El número total requerido de módulos para la iluminación de la isla, se determina de la ecuación (11):

$$Nt_m = A_m * T_{CCn} \quad (11)$$

En dónde,

$Nt_m$ , número total de módulos, unidad

$$Nt_m = 3,083 * 0,8$$

$$Nt_m \approx 3$$

En conclusión, para poder cubrir el requerimiento de carga en la iluminación de la isla experimental, se requiere de 3 láminas fotovoltaicas.

#### Dimensionamiento del banco de baterías

La capacidad nominal del banco de baterías se calcula de acuerdo a 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, unidad

Para este proyecto, se decidió considerar sólo un día de reserva. Entonces, la capacidad nominal del banco de baterías se aproximó a:

$$C_{nbb} = 25 \text{ Ah}$$

La capacidad corregida del banco de baterías, se determina mediante a la ecuación (13):

$$C_{cbb} = \frac{C_{nbb}}{P_d} \quad (13)$$

En dónde,

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

Entre las existentes en el mercado, se preseleccionó una batería Ritar RA12-40 de 40 Ah [15], cuya profundidad de descarga es del 70%. Por lo tanto:

Por cuanto la batería Ritar RA12-40 tiene una capacidad nominal de 40 Ah, se ratificó su selección. El número requerido de baterías, conectadas en paralelo, se determina a través de la ecuación (14).

$$A_{bp} = \frac{C_{cbb}}{C_{nb}} \quad (14)$$

En dónde,

$A_{bp}$ , arreglo de baterías en paralelo  
 $C_{nb}$ , capacidad nominal de la batería, Ah

$$A_{bp} = \frac{35,71}{40}$$

$$A_{bp} \approx 1$$

Es decir, se requiere de una sola batería para acumular la energía proveniente de las láminas fotovoltaicas.

#### Dimensionamiento del regulador de carga

La corriente máxima del regulador se aproxima mediante la ecuación (15):

$$I_{max\_R} = \frac{C_{max\_l}}{T_{CCb}} \quad (15)$$

En dónde,

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

Se consideró que el arreglo de láminas en paralelo es capaz de mantener una potencia de 84W, con lo que:

$$I_{max\_R} = \frac{84 \text{ W}}{12 \text{ V}}$$

$$I_{max\_R} = 7 \text{ A}$$

Para este proyecto, se seleccionó un regulador de carga tipo Phocos CML10, de 10 A [16].

#### Dimensionamiento del inversor

Por cuanto la energía requerida por la carga en la isla experimental se calculó en 250 Wh/día, se requiere de un inversor con una capacidad máxima pico CA de 300W [17]. En este sentido, se decidió utilizar un inversor tipo Avtec IN-300 [18], disponible en la SSE del DCCE,

La Tabla 7 resume las características técnicas de los equipos seleccionados para el sistema de provisión de energía a la isla experimental.

Tabla 7

Parámetros de los equipos a utilizar para el sistema de provisión de energía de la isla experimental.

Componentes	Cant.	Pot., W	Voltaje, V	Cap.	Corriente pico, A
Lámparas LED	4	10	120 en AC, 60 Hz	-	-
Láminas FV	3	28	15,4 en CD	-	1,8
Baterías	1	-	12 en CD	40 Ah	-
Regulador	1	120	12 en CD	-	10
Inversor	1	300	12 en CD / 120 en AC	-	20

V. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO DE PROVISIÓN DE ENERGÍA PARA LA ISLA EXPERIMENTAL

A. Diseño y construcción del módulo de conmutación del sistema

El módulo de conmutación apoya la provisión constante e interrumpida de energía al bloque de iluminación. Desde la perspectiva del control automático, el módulo responde a la variable “nivel de energía disponible en las baterías”, que caracteriza al módulo de storage del sistema.

Diseño del módulo de conmutación

La Fig. 6, muestra el flujograma de la lógica de operación propuesta para el módulo de conmutación, que operará en régimen automático.

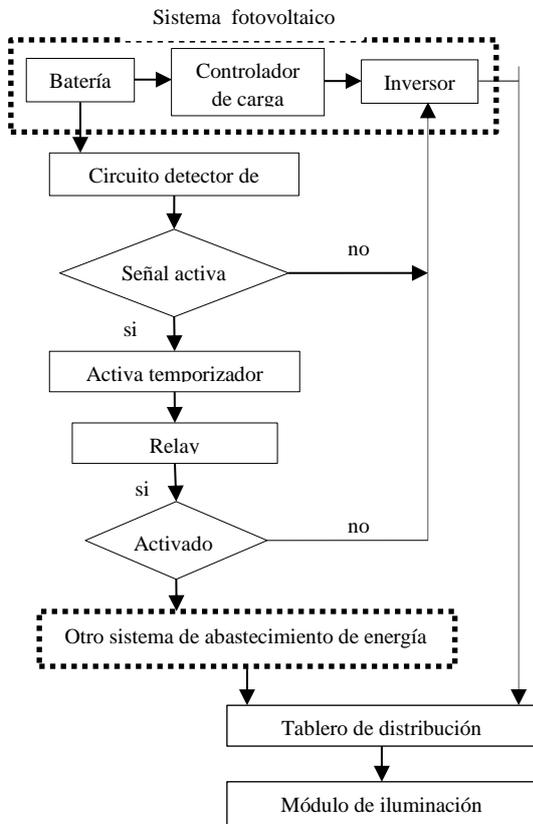


Fig. 6. Flujograma de la lógica de operación propuesta para el módulo de conmutación del sistema híbrido. [Autores]

En una primera etapa, se monitorea el nivel de voltaje en los bornes de las baterías del módulo de storage. Un descenso en el nivel más allá de lo permitido, emite una señal que activa la segunda etapa.

En la segunda etapa, un temporizador crea un delay en la activación de un relé, que redirecciona la alimentación del tablero de protección y del módulo de iluminación, hacia el módulo eólico.

Detección del nivel de carga de las baterías

La Fig. 7, muestra el esquema del circuito detector de nivel de carga en las baterías. A un determinado nivel de voltaje en los bornes de las baterías (umbral), el módulo de storage pasa del régimen *descarga* al de *standby*, o, viceversa, en función de la dirección del paso [19].

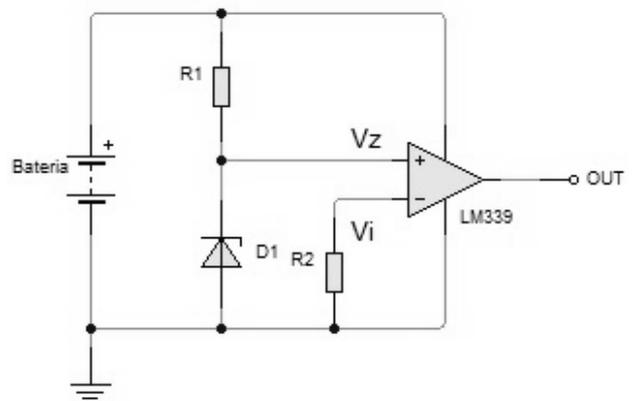


Fig. 7. Esquema del circuito detector de nivel en las baterías. [20]

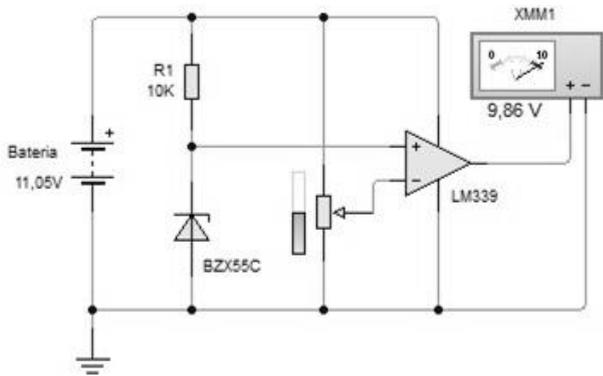
En el marco de este proyecto, el umbral se estableció considerando el criterio de los fabricantes del controlador de carga [16], en 11,6V.

En el esquema, el integrado LM339 compara la tensión en la entrada directa  $V_i$ , con la tensión de referencia del diodo Zener  $V_z$ , y, su salida se activa de acuerdo a la lógica descrita en la expresión (16) [20]:

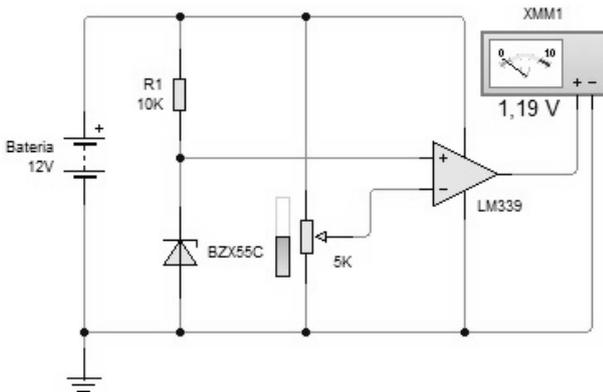
$$\begin{cases} V_z < V_i \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) & \rightarrow \text{señal activa} \\ V_z > V_i \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) & \rightarrow \text{señal desactiva} \end{cases} \quad (16)$$

A partir de una resistencia de 10KΩ en el resistor R1, la expresión (16) determinó que para el resistor R2 se requeriría de una resistencia mayor a 34Ω. Considerando la disponibilidad, se decidió emplear un potenciómetro de 5KΩ, aún a riesgo de sacrificar el ajuste de la resistencia.

Con ayuda del software Livewire [21], se simuló el funcionamiento del circuito detector de nivel con los parámetros establecidos, comprobando el cumplimiento de la lógica propuesta (ver Fig.8).



a)



b)

Fig. 8. Simulación del funcionamiento del circuito detector de nivel, utilizando Livewire. [Autores]. a) batería descargada y b) batería cargada.

**Temporización y conmutación**

Al pasar el voltaje de los bornes de las baterías a través del umbral definido, en la dirección de descarga, el circuito detector de nivel emite una señal “activa”, cuya duración en el tiempo no es suficiente para activar el conmutador. Por esta razón, se decidió instalar un temporizador para mantener la señal (ver Fig. 9).

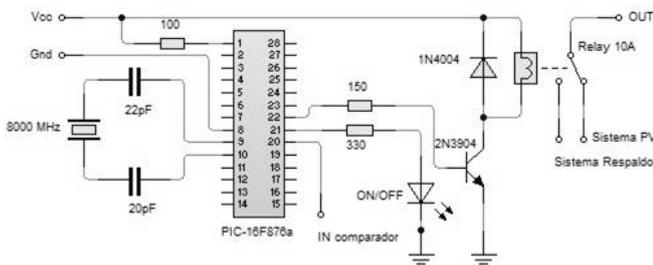


Fig. 9. Esquema del circuito de temporización y conmutación. [Diseño de autores].

La Fig. 10 muestra el esquema general del módulo a construir (ver página siguiente), mientras que la Fig.11 describe la placa diseñada para el módulo de conmutación, elaborada con ayuda del software PCB Wizard [22]. En la Fig. 12, se muestra el módulo de conmutación construido.

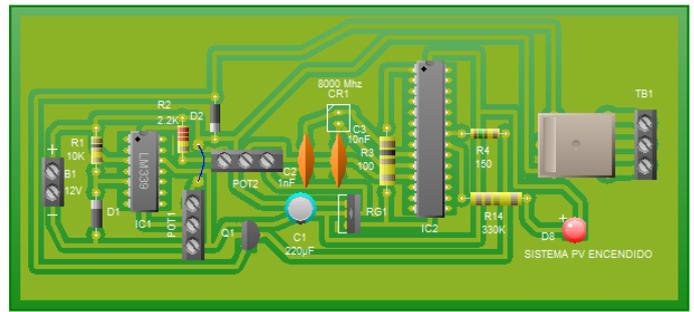


Fig. 11. Diseño de la placa del módulo de conmutación, utilizando PCB Wizard. [Diseño de autores].



Fig. 12. Módulo de conmutación construido para este proyecto. [Autores]

*B. Instalación de los componentes del sistema híbrido*

Considerando la forma de la cubierta de la isla experimental, y su ubicación respecto al Sol, se decidió ubicar las láminas solares de forma perpendicular a la cubierta, a ambos lados de la línea de división de aguas (ver Fig. 13). Las láminas solares se aseguran a la cubierta a través de 6 cáncamos, que proporcionan sujeción y separan la lámina de la cubierta, creando una zona de ventilación natural (ver Fig. 14). De acuerdo a los datos técnicos, las láminas solares utilizadas, tienen su mejor desempeño a una temperatura ambiente de trabajo a 25°C [17].



Fig. 13. Instalación de las láminas solares sobre la cubierta de la isla experimental. [Autores]



Fig. 14. Fijación de las láminas solares a la cubierta utilizando cáncamos. [Autores]

Tablero de control

El tablero de control propuesto, permite centralizar la conexión de los módulos de storage y conmutación (ver Fig. 15 y 16).

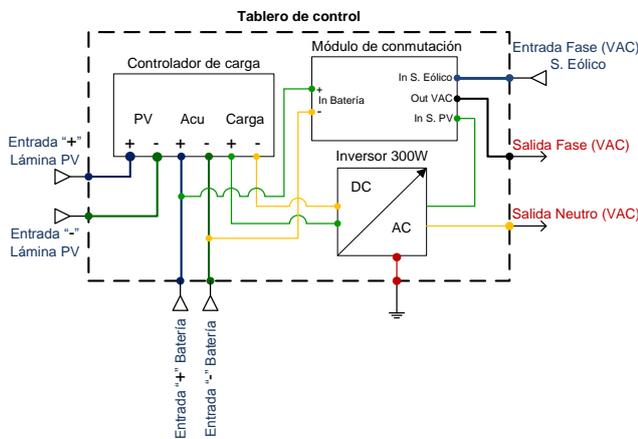


Fig. 15. Esquema eléctrico del tablero de distribución a implementar. [Diseño de autores]



Fig. 16. Panorámica del tablero de distribución implementado. [Autores]

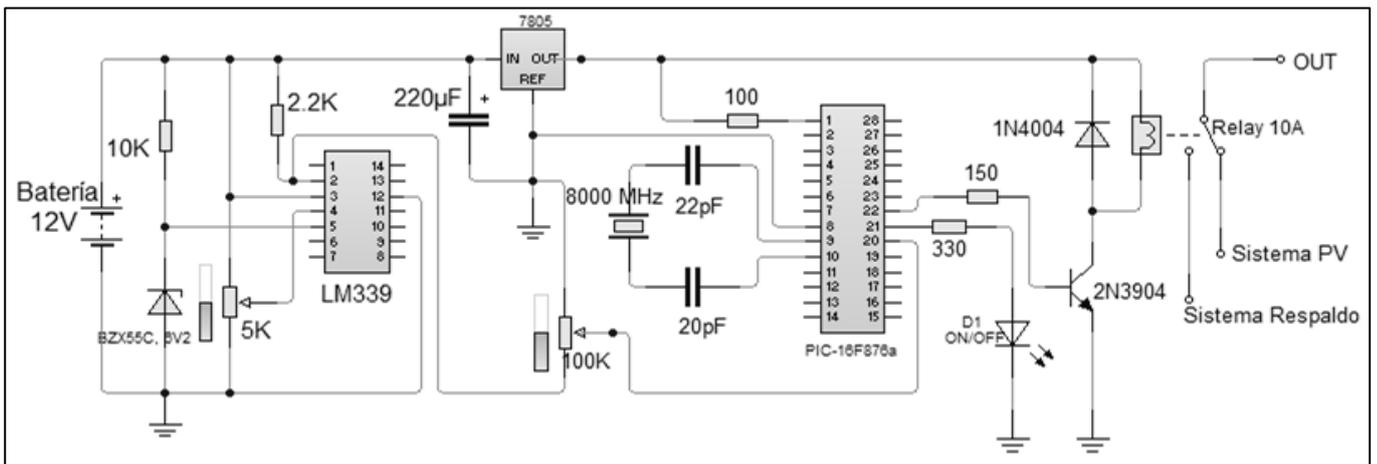


Fig. 10 Esquema general del módulo de módulo de conmutación. [Diseño de autores].

Tablero de distribución

El tablero de protección centraliza la activación y protección de cada uno de los circuitos del sistema [23]. El esquema eléctrico del tablero se muestra en la Fig. 17. De acuerdo a [23], para la protección se seleccionó breaker de 15 A.

Conexión de los tableros a tierra

Para protección de sobrecorriente, el cable de tierra se conecta con el neutro mediante un puente de unión. Esto permite que al presentarse una falla a tierra, se produzca un cortocircuito que haga operar el dispositivo de protección del circuito (ver Fig. 18) [23].

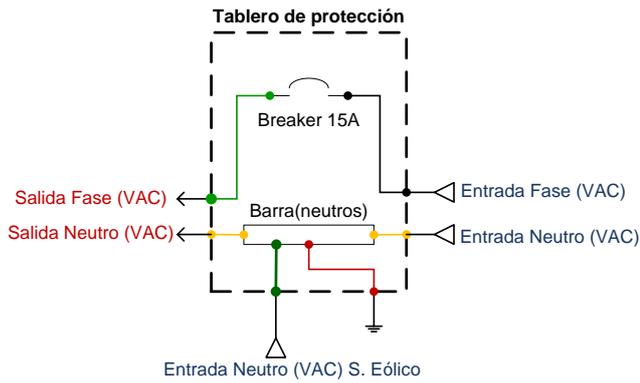


Fig. 17. Esquema eléctrico del tablero de distribución y protección. [Diseño de autores]



Fig. 18. Conexión a tierra del tablero de distribución. [Autores]

### Módulo de iluminación

Para iluminación se utilizó 4 lámparas PowerLED de 10W, activadas a través de 1 sensor infrarrojo de movimiento tipo deko SR017 (ver Fig.19). Las lámparas se instalaron en boquillas rotables, para compensar el desnivel del suelo. Las luminarias se conectaron con cable AWG #14, en correspondencia a la norma ecuatoriana NEC-11 de energías renovables [17], de acuerdo al esquema de conexión mostrado en la Fig.20.



Fig. 19. Sistema de iluminación instalado. [Autores]

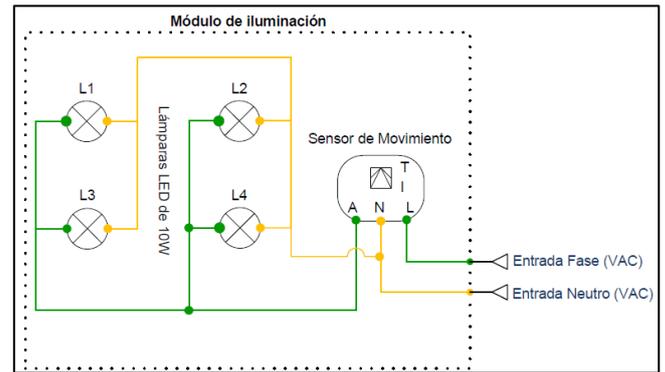


Fig. 20. Esquema de conexiones del módulo de iluminación. [Diseño de autores].

La Fig. 21 muestra un esquema general de las conexiones eléctricas en la isla experimental (ver página siguiente).

### C. Cuantificación de la inversión realizada en la instalación

Para cuantificar la inversión realizada en la instalación del sistema híbrido de provisión de energía a la isla de experimental, se consideró rubros como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje (ver Tabla 8).

Tabla 8

Cuantificación de la inversión realizada en la instalación del sistema híbrido de energía para la isla experimental.

Descripción de productos	Unid.	Cant.	Precio unitario, USD	Inversión, USD
Cable conexión entre laminas 1x12 AWG	m	30	0,45	13,5
Batería Ritar Power RA1240D	u	1	148,75	148,75
Controlador de carga Phocos CML CML10-2.1	u	1	48,5	48,5
Set de conmutación automática y control	u	1	50	50
Breaker 10 A DC	u	1	13	13
Varilla de cobre para puesta a tierra, 5/8"	u	1	14	14
Cable de hilos verde para tierra 1x12 AWG	m	3	0,45	1,35
Canaleta de 1 x 1cm de 3 metros de largo	u	5	3	15
Caja de breakers	u	1	5	5
Detector de Movimiento de techo por sensor infrarrojos	u	1	9,5	9,5
Bombilla LED de 10W	u	4	15	60
Boquilla E27	u	4	3	12
Cable conexión entre bombillas LED y batería 1x14 AWG	m	40	0,3	12
Misceláneos (cáncamos, fusibles, cinta aislante, terminales de cable que los equipos ofertados requieran según especificaciones técnicas de los mismos.)	u	1	40	40
<b>Subtotal incluido el IVA, 12%</b>				<b>442,60</b>
<b>Imprevistos, 5%</b>				<b>22,13</b>
<b>TOTAL</b>				<b>464,73</b>

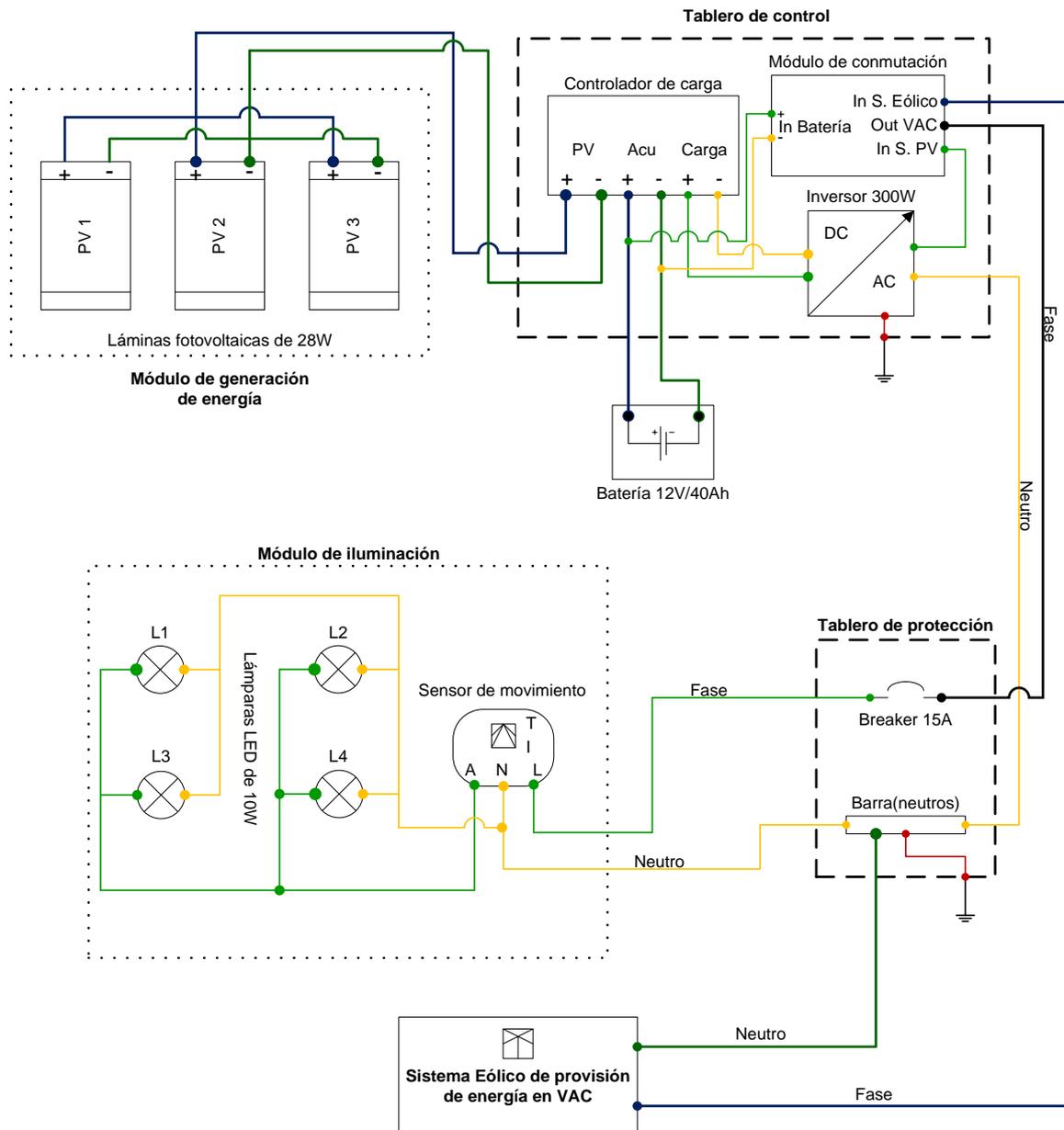


Fig. 21. Esquema general de las conexiones eléctricas del sistema híbrido de provisión de energía a la isla experimental. [Autores].

## V. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA HÍBRIDO DE PROVISIÓN DE ENERGÍA

### A. Evaluación del desempeño del sistema

La evaluación del desempeño del sistema híbrido instalado, se dividió en dos fases: verificación del funcionamiento del arreglo de láminas PV, y, evaluación de la operatividad del bloque de transferencia.

#### Evaluación el desempeño del arreglo de láminas PV

En la bibliografía [24] se explica que en el Ecuador los días tienen una duración casi constante de 12,1 h. Minimizando la influencia de la variabilidad de la nubosidad a lo largo del año, se puede afirmar que, en un día lo bastante despejado, se puede

monitorear el desempeño de un sistema fotovoltaico e inferir su comportamiento óptimo a lo largo del año.

Bajo esta premisa, para evaluar el desempeño del arreglo de láminas PV, se decidió monitorear el comportamiento de las variables de voltaje y corriente DC, durante 1 día, considerando como carga a la batería. El monitoreo se realizó el 4 de julio de 2013, entre las 6h00 y 18h00, en intervalos de 10 minutos.

Para el registro de las variables se utilizó un voltímetro y un amperímetro, con una precisión de  $\pm 0,5\%$ , instalados de acuerdo al esquema mostrado en la Fig. 22(ver página siguiente). De acuerdo al dimensionamiento del sistema, se esperaba una variación de voltaje entre 0 y 15 V, y, una variación de corriente entre 0 y 5.5 A en corriente directa.

La energía provista por el sistema, se aproximó a través de la determinación del área bajo la curva de potencia proporcionada.

#### Análisis de resultados

En la Fig. 23(ver página siguiente) se muestra la relación entre las variables de voltaje, corriente, y potencia del sistema. Por cuanto en el intervalo de 6h45 a 18h00, el voltaje es caso constante, la forma de la curva de potencia reproduce el comportamiento de la curva de corriente, ya que muestra un comportamiento semejante a la de la curva de la potencia esperada, pero con valles de corta duración, debidos presumiblemente a variación de la radiación solar sobre las láminas PV.

En la Fig. 24 se puede apreciar que la curva de la potencia proporcionada es semejante a la curva de potencia esperada, por lo cual se puede afirmar que el sistema funciona de acuerdo al diseño.

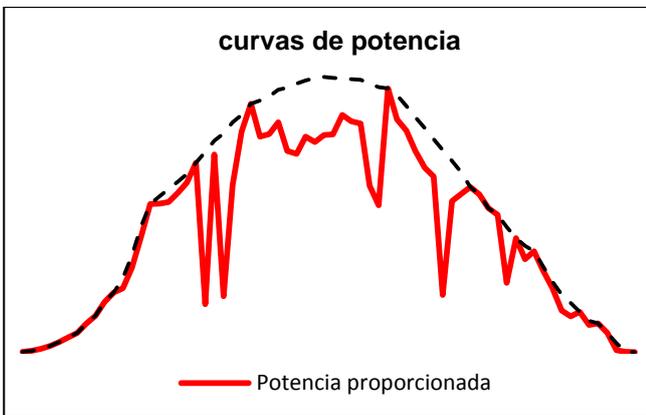


Fig. 24. Curva de la potencia proporcionada y esperada. [Autores]

#### Aproximación de la energía proporcionada por el sistema fotovoltaico

Para aproximar la energía proporcionada por el sistema, se utilizó el método de Simpson representado por la ecuación 17 [25].

$$I = \int_a^b f(x)dx \approx (b-a) \left[ \frac{f(x_0) + 4f(x_1) + f(x_2)}{6} \right] \quad (17)$$

Reemplazando en (17) los límites de integración por la hora, y, los argumentos por los significados de la potencia, se obtiene entonces la expresión (18):

$$E \approx \int_{t_0}^{t_2} P(t)dt \approx (t_2 - t_0) \left[ \frac{P(t_0) + 4P(t_1) + P(t_2)}{6} \right] \quad (18)$$

Entonces, la energía aportada por el sistema en el día de monitoreo, se aproxima a:

$$E \approx 364.211 \text{ Wh/día}$$

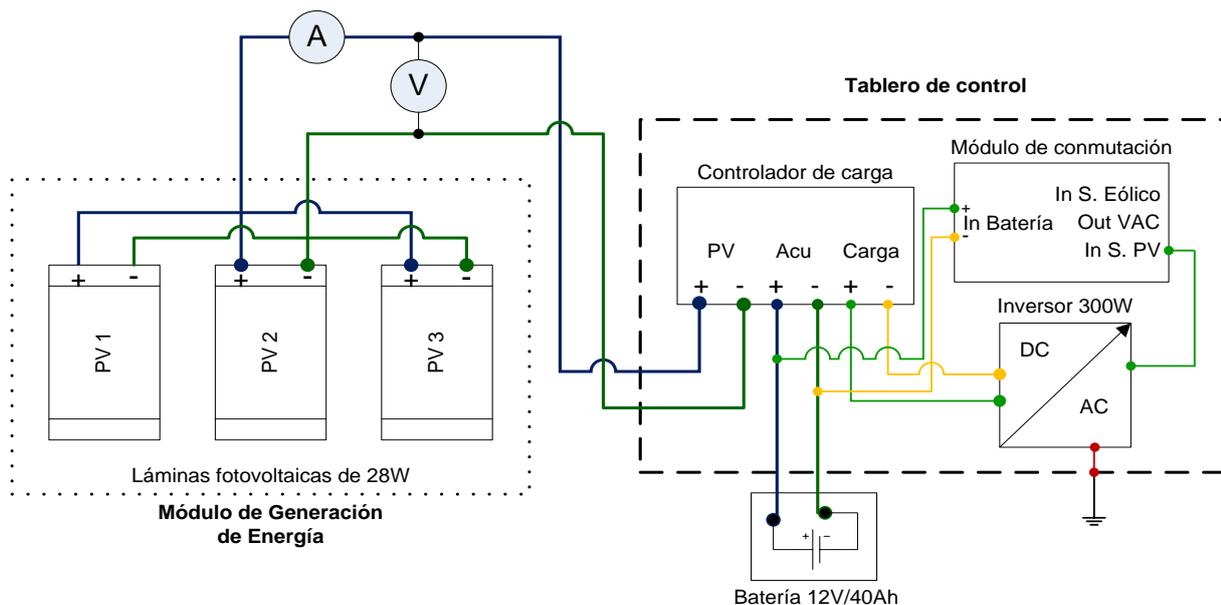


Fig. 22. Esquema de conexión de instrumentos de medición: amperímetro (A), voltímetro (V) [Autores]

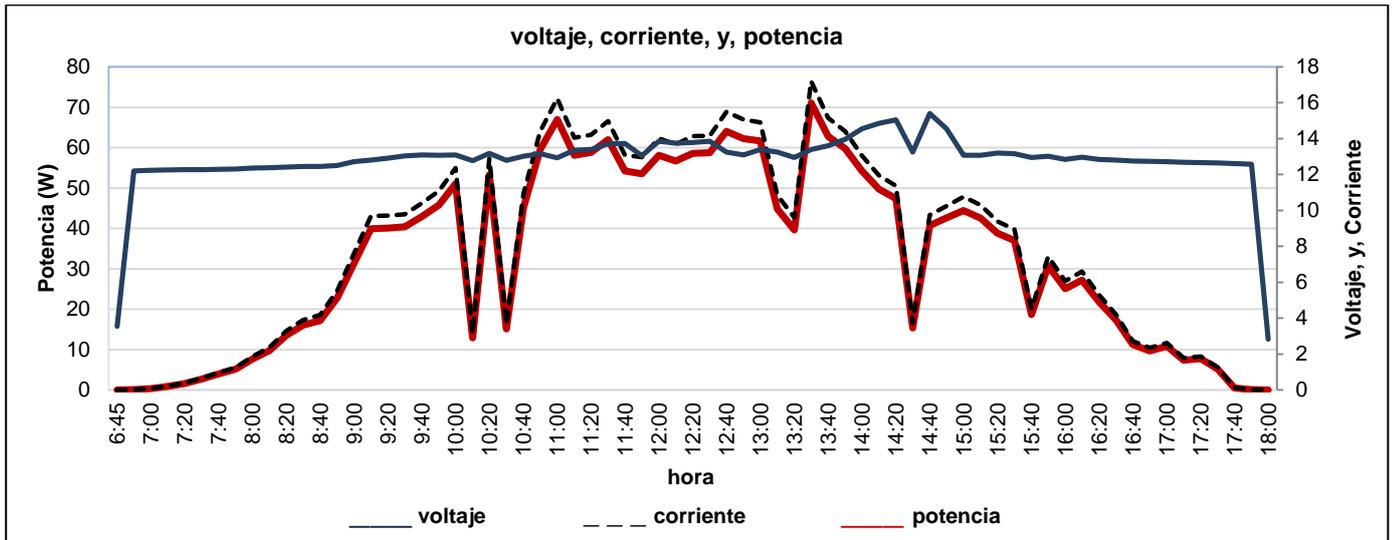


Fig. 23. Curvas de voltaje, corriente, y, potencia del arreglo de las láminas. [Autores]

### Desempeño del bloque de transferencia

Para evaluar el desempeño del bloque de transferencia, se conectó al sistema una carga de tal manera que se llevó a la batería a su umbral de descarga. En este punto, el bloque de transferencia reorganizó la alimentación de la carga desde la entrada de energía de respaldo (red eléctrica pública). Los resultados mostraron un 100% de efectividad.

Para verificar el funcionamiento del módulo de storage del sistema PV, se alimentó las iluminarias desde las baterías. Los resultados mostraron que el sistema abastece de forma autónoma a la carga durante 5 horas, en correspondencia a los requerimientos de diseño.

### VI. CONCLUSIONES

- En el marco general de la iniciativa, se ha propuesto diseñar e implementar una isla del conocimiento, en la que, la tecnología de provisión de energía aproveche fuentes renovables, y, forme parte integral del diseño de la isla.
- El análisis de los resultados de la fase de prefactibilidad, permitió identificar al menos 2 problemas a resolver: el costo de la obra arquitectónica, y, el costo de implementación del sistema de provisión de energía.
- En el marco de la fase de factibilidad del proyecto, se decidió abordar la reducción de los costos de implementación del sistema de provisión de energía, al margen de la búsqueda de mejores opciones para la construcción de la isla.
- Para reducir los costos de implementación del sistema de provisión de energía, se planteó dos iniciativas de ejecución simultánea: redefinir la arquitectura y redimensionar los componentes del sistema de provisión de energía.
- El equipo de trabajo decidió minimizar la inversión en infraestructura arquitectónica, razón

por la cual se propuso la construcción de una estructura metálica mínima, capaz de proveer la superficie de cubierta requerida para la ubicación de las láminas solares, y, con un espacio interior suficiente para la instalación del resto de equipos, y, para la realización de pruebas de desempeño del sistema.

- Para dimensionar y preseleccionar los equipos a utilizar en el sistema de provisión de energía fotovoltaica para iluminación de una isla experimental a implementar en el Campus San Cayetano de la UTPL, se utilizó la metodología sugerida por el Ministerio de electricidad y energía renovable del Ecuador, en el atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica.
- Se seleccionó lámparas LED para iluminar la isla, debido a su bajo consumo de energía.
- La demanda diaria de energía requerida por la isla se estimó en 250Wh/día.
- La radiación solar para la ciudad de Loja se consideró en 4,5 KWh/m<sup>2</sup> anual.
- El módulo de conmutación apoya la provisión constante e interrumpida de energía al bloque de iluminación. Desde la perspectiva del control automático, el módulo responde a la variable “nivel de energía disponible en las baterías”, que caracteriza al módulo de storage del sistema.
- Al pasar el voltaje de los bornes de las baterías a través del umbral definido, en la dirección de descarga, el circuito detector de nivel emite una señal “activa”, cuya duración en el tiempo no es suficiente para activar el conmutador. Por esta razón, se decidió instalar un temporizador para mantener la señal.
- Considerando la forma de la cubierta de la isla experimental, y, su ubicación respecto al Sol, se decidió ubicar las láminas solares de forma perpendicular a la cubierta, a ambos lados de la línea de división de aguas. Las láminas solares se aseguran a la cubierta a través de 6 cáncamos, que proporcionan sujeción y separan la lámina de la cubierta, creando una zona de ventilación natural.

- De acuerdo a los datos técnicos, las láminas solares utilizadas, tienen su mejor desempeño a una temperatura ambiente de trabajo a 25°C.
- Para protección de sobrecorriente, el cable de tierra se conectó con el neutro mediante un puente de unión. Esto permite que al presentarse una falla a tierra, se produzca un cortocircuito que haga operar el dispositivo de protección del circuito.
- Para iluminación se utilizó 4 lámparas PowerLED de 10W, activadas a través de 1 sensor infrarrojo de movimiento tipo deko SR017. Las lámparas se instalaron en boquillas rotativas, para compensar el desnivel del suelo. Las luminarias se conectaron con cable AWG #14, en correspondencia a la norma ecuatoriana NEC-11 de energías renovables.
- Para cuantificar la inversión realizada en la instalación del sistema híbrido de provisión de energía a la isla de experimental, se consideró rubros como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje.
- En la evaluación del desempeño del sistema híbrido fue posible la construcción de una curva de potencia proporcionada por las láminas solares.
- En el intervalo de observación, el voltaje en los bordes del arreglo de láminas se mantuvo casi constante, por lo que la forma de la curva de potencia corresponde a la de la corriente.
- La gráfica de potencia proporcionada tuvo un comportamiento semejante a la curva de potencia esperada, pero con valles de corta duración, debidos presumiblemente a variación de la radiación solar sobre las láminas PV.
- La energía provista por el sistema se aproximó a 364Wh/día, a través del cálculo del área bajo la curva de potencia proporcionada, utilizando el método de Simpson.

#### VIII. REFERENCIAS

- [1] "Diseño de un sistema híbrido de provisión de energía para las Islas de descanso en el campus UTPL" [Online]. Disponible en: <http://cepra.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/Tesis%20Fierro%20Castillo%20Priscila%20del%20Rocio.pdf> [Consulta Enero 2013]
- [2] "Ideas jóvenes". Islas de estancia universitarias. Escuela de Arquitectura. UTPL
- [3] "Paneles fotovoltaicos orgánicos y CIGS". [Online]. Disponible en: [http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/1\\_Nuevas\\_Tecnologias\\_Solares/16\\_Paneles\\_fotovoltaicos\\_organicos\\_y\\_CIGS.html](http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/1_Nuevas_Tecnologias_Solares/16_Paneles_fotovoltaicos_organicos_y_CIGS.html) [Consulta Mayo de 2012].
- [4] "Proyecto SIMEC CHILE SRL". [Online]. Disponible en: [http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto\\_Simec\\_Chile.pdf?1287789602](http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto_Simec_Chile.pdf?1287789602) [Consulta Mayo de 2012].
- [5] M. Delgado; E. Córdova. "Diseño de Tipo Isla del Conocimiento". Departamento de Arquitectura y Arte. Universidad Técnica Particular de Loja.
- [6] GLOBAL SOLAR. "Laminas Power Flex BIPV 82 W". [Online]. Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/global-solar/modulos-fotovoltaicos-cigs-de-capas-finas-20893-777295.html> [Consulta Octubre de 2012].
- [7] PROVIENTO. "Inversores y baterías solares". [Online]. Disponible en: <http://www.proviento.com.ec/> [Consulta Octubre de 2012].
- [8] MORNINGSTART. "Controladores Morningstar ProStar 15". [Online]. Disponible en: <http://www.proviento.com.ec/> [Consulta Octubre de 2012].
- [9] "Inversor TEP-300W". [Online]. Disponible en: [http://www.alibaba.com/product-gs/491714843/300w\\_solar\\_inverter\\_for\\_home\\_use.html](http://www.alibaba.com/product-gs/491714843/300w_solar_inverter_for_home_use.html) [Consulta Octubre de 2012].
- [10] "Conmutador VAC2/S-15E". [Online]. Disponible en: <http://www.proveedoresmineros.com/squared.pdf> [Consulta Octubre de 2012].
- [11] "Cálculo según el método de los lúmenes", [Online]. Disponible en: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12833/art%C3%ADculo%20docente%20C%C3%A1lculo%20m%C3%A9todo%20de%20los%20C%C3%BAmenes.pdf?sequence=3> [Consulta junio 2013].
- [12] VOLTIMUM, S.A. "Iluminación para interiores - Norma UNE 12464", Barcelona - España. [Online]. Disponible en: <http://www.voltimum.es/news/625/cm/iluminacion-parainteriores--norma-une-12464-1--comprenderla-es-aprovecharla.html> [Consulta junio de 2013].
- [13] CONECEL. "Atlas Solar del Ecuador". Corporación para la investigación energética. [Online]. Disponible en: [http://www.conelec.gov.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gov.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf) [Consulta junio 2013].
- [14] "PowerFilm 28 Watts Rollable Solar". [Online]. Disponible en: <http://www.powerfilmsolar.com/products/?r28&show=product&productID=271518&productCategoryIDs=6578> [Consulta junio de 2013].
- [15] RITAR. "Batería Ritar RA12-40". [Online]. Disponible en: <http://www.ritarpower.com/upload/pdf/2013022710222660161774.pdf> [Consulta junio de 2013].
- [16] "Controlador de carga Phocos CML10". [Online]. Disponible en: [http://www.phocos.com/ppi/acrobat/Datasheet\\_CML\\_V2\\_E\\_SP.pdf](http://www.phocos.com/ppi/acrobat/Datasheet_CML_V2_E_SP.pdf) [Consulta junio de 2013].
- [17] Norma Ecuatoriana NEC-11, Capítulo 14, Energías Renovables, mayo de 2013. [Consulta junio 2013].
- [18] "Inversor Avtec IN-300". [Online]. Disponible en: <http://www.datastore.com.ve/inversor-portatil-avtek-300w-cpto-usb-in-300-avtek> [Consulta junio de 2013].
- [19] "Solar Technology Energía Solar El Salvador" [Online]. Disponible en: <http://technologysolar.blogspot.com/> [Consulta abril de 2013]
- [20] Domingo C. Guarnaschelli. "Procesos de Señales Eléctricas con Amplificadores Operacionales". UTN. Facultad Regional Santa Fe [Online]. Disponible en: [http://www.frfsf.utn.edu.ar/matero/visitante/bajar\\_apunte.php?id\\_catedra=141&id\\_apunte=3648](http://www.frfsf.utn.edu.ar/matero/visitante/bajar_apunte.php?id_catedra=141&id_apunte=3648) [Consulta abril 2013]
- [21] NEW WAVE CONCEPTS. "Software de simulación Livewire". [Online]. Disponible en: <http://www.new-wave-concepts.com> [Consulta abril de 2013]
- [22] NEW WAVE CONCEPTS. "Software de diseños electrónicos PCB Wizard". [Online]. Disponible en: <http://www.new-wave-concepts.com> [Consulta abril de 2013]
- [23] "Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión". [Online]. Disponible en: <http://www.uv.mx/personal/jdominguez/files/2012/10/Manual-de-Instalaciones-Electricas-en-BT-2009.pdf> [consulta julio 2013]
- [24] Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. "Guía para la preparación de anteproyectos de energía solar fotovoltaica" [Online]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2239/1/CD-2536.pdf> [consulta julio 2013]
- [25] "Integración Numérica: Método de Simpson" [Online]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/metodos0123/unidad-5-derivacion-e-integracion-numerica/5-2-integracion-numerica-metodo-del-trapecio-metodos-de-simpson-1-3-y-3-8> [Consulta julio de 2013].