

# **IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS ELECTRÓNICOS PARA OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN REDES DE SENSORES**

## *IMPLEMENTATION OF ELECTRONIC MODULES FOR OPTIMIZATION OF RENEWABLE ENERGY IN SENSOR NETWORKS*

***Ever Arnaldo Quiñonez González***

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay  
*ever.qg@pol.una.py*

***Norma Graciela Silva Ortiz***

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay  
*norma.silva@pol.una.py*

***Federico Augusto Gaona Verón***

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay  
*federico.gaona@pol.una.py*

***Ariel Mazaru Manabe Safi***

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay  
*amanabe@pol.una.py*

**Recepción:** 6/noviembre/2019

**Aceptación:** 4/diciembre/2019

### **Resumen**

Un aspecto importante para las redes de sensores es la provisión de energía eléctrica ininterrumpida, por tanto, debe asegurarse la fuente mediante el uso de baterías, las cuales deben recargarse en forma eficaz. Emplear energía renovable es la vía más segura para zonas rurales con dificultades de acceso a una red de distribución de electricidad. Este trabajo muestra cómo implementar un sistema de carga de baterías de tipo Ión de litio, aplicando una solución modular electrónica mediante paneles solares de 20 W. Mediante numerosas pruebas de laboratorio y de campo, se consigue obtener como resultado un sistema modular eficaz, que mantiene el voltaje de alimentación de 3.3 V para una carga de 150 mA (consumo energético aproximado del nodo sensor empleado) por un plazo máximo de 72 horas de insuficiencia de radiación solar en los paneles solares.

**Palabras Claves:** Baterías de Ión de litio, energía renovable, redes de sensores.

## **Abstract**

*An important aspect for sensor networks is the provision of an uninterrupted electrical energy service, therefore, the source of energy must be secured, an option to achieve this is through the use of batteries, which must be recharged efficiently. Using renewable energy is a convenient option for rural areas where exist difficulties in accessing an electricity distribution network. This work shows how to implement a lithium-ion battery charging system, applying an electronic modular solution using 20 W solar panels. Through numerous laboratory and field tests, an efficient modular system is obtained, which maintains the 3.3 V supply voltage for a 150 mA load (approximate energy consumption of the sensor node used) for a maximum period of 72 hours of insufficient solar radiation on the solar panels.*

**Keywords:** *Lithium-ion batteries, renewable energy, sensor networks.*

## **1. Introducción**

El sistema de monitoreo remoto en tiempo real del vector transmisor de la enfermedad de Chagas es un proyecto del Grupo de Investigación en Electrónica y Mecatrónica (GIEM) de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción. Un proyecto orientado en una red inalámbrica energéticamente sostenible para lograr la detección remota y en tiempo real de la vigilancia entomológica de triatoma infestans y otros triatominos [Gaona, 2017]. Las trampas se instalan dentro de los gallineros de las casas, en una localidad de la región occidental de Paraguay.

Uno de los principales desafíos para una solución tecnológica en la región occidental, es emplear energía renovable para alimentar redes de sensores. A pesar de que el Paraguay tiene una cobertura bastante elevada de suministro de energía eléctrica, por el Sistema de Interconexión Nacional de la “Administración Nacional de Electricidad” (ANDE), gran parte de las áreas rurales de esta región carecen de la energía eléctrica, principalmente debido a su baja densidad poblacional [Pulfer, 2005].

El objetivo principal de este trabajo es la implementación de un sistema de carga de baterías de tipo Ión de litio, aplicando una solución modular electrónica mediante

paneles solares, para que cumpla con las características requeridas en la alimentación de las redes de sensores.

El propósito de estos tipos de sistemas es acondicionar, transferir y distribuir la potencia proveniente de los paneles solares a la carga y almacenar energía en un banco de baterías recargables, para el suministro eléctrico en situaciones donde los paneles solares no estén en posición de proporcionar la energía a la carga. [Céspedes, 2012].

La importancia del sistema radica en minimizar el costo de implementación para la fuente de alimentación de las trampas mediante fuente de energía solar y baterías, a modo de garantizar su operación durante el día, la noche, días lluviosos o días nublados, además de contribuir en una solución técnica para alimentar a baja potencia dispositivos digitales, empleando energía renovable.

La parte restante de este documento está estructurado de la siguiente manera; en la sección de metodología se plantea la topología de conexión de los módulos, el dimensionamiento del panel y de las baterías para el abastecimiento de energía de acuerdo con la carga requerida.

En la sección de resultados se presenta los hallazgos de las mediciones realizadas en el laboratorio para el ajuste de los módulos y las pruebas del cargador de baterías a distintas condiciones de carga. En la parte de la discusión se comenta los resultados finales de la implementación del sistema en la zona de estudio. Finalmente se presentan las conclusiones y las fuentes bibliográficas.

## **2. Métodos**

El tipo de investigación fue tecnológica porque buscó resolver un problema práctico para satisfacer las necesidades de alimentar una red de sensores en una zona en donde no se dispone de energía eléctrica convencional.

El área de trabajo para la implementación de esta investigación se encuentra en la localidad Nivacilé de Tiberia a 404 km de Asunción, la cual pertenece al distrito de Loma Plata, del departamento de Boquerón de la región occidental. Como información preliminar se procedió a la recopilación de la información del sitio de

estudio, tales como el acceso a la red eléctrica, lugar de instalación de las trampas y las características de la potencia requerida por los sensores.

Siguiendo con la fase de investigación documental en la recolección de datos bibliográficos, para el estudio del arte a modo a hallar la topología de conexión adecuada para el sistema y el dimensionamiento de los diversos módulos.

En la siguiente fase se realizaron las pruebas en laboratorio para el ajuste de los diversos módulos, para finalmente llegar a la implementación en el sitio.

### Provisión de Energía

Paraguay, a pesar de ser un país de nivel de desarrollo relativamente bajo, tiene una cobertura bastante elevada de suministro de energía eléctrica por el Sistema de Interconexión Nacional de la "Administración Nacional de Electricidad" (ANDE). El SIN no cubre la mayor parte de la región occidental esto principalmente debido a su baja densidad poblacional [Pulfer, 2005].

El Paraguay dispone en la totalidad de su territorio buenas condiciones de irradiación solar, que varían relativamente poco entre las diferentes regiones del país. En la figura 1 se dispone del estudio de "Estimación de la Distribución de la Radiación Solar Global en la República del Paraguay", efectuado en 1994 por el Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología (INTN) [Pulfer, 2005].

Estación	Departamento	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Bahía Negra	Alto Paraguay	21.8	20.5	18.1	15.0	12.3	10.7	13.1	13.9	15.2	18.8	21.3	19.6	16.7
Nueva Asunción	Boquerón	21.6	22.8	20.1	14.4	11.8	10.0	10.0	12.4	13.7	16.6	19.8	21.3	16.2
Mcal. Estigarribia	Boquerón	21.8	21.8	19.1	16.2	12.0	10.2	12.3	14.3	16.6	20.9	22.0	22.6	17.5
Pratts Gill	Boquerón	22.3	22.0	18.4	16.1	12.6	10.1	11.7	13.9	16.8	20.5	22.0	22.3	17.4
Paso Barreto	Concepción	22.7	23.2	19.1	17.2	13.5	12.3	13.3	14.0	16.6	20.8	23.4	22.7	18.2
Concepción	Concepción	20.6	20.9	18.3	15.4	12.3	10.2	11.9	12.5	15.3	18.6	21.5	20.5	16.5
Salto del Guairá	Canindeyú	20.5	21.2	18.2	14.9	11.7	10.5	11.3	12.6	14.1	18.3	20.5	20.3	16.2
San Lorenzo	Central	24.2	22.7	18.9	15.9	12.7	10.7	11.6	13.6	16.0	20.4	23.3	24.6	17.9
Asunción	Central	23.9	23.2	19.4	16.2	12.9	11.0	11.6	14.2	16.6	20.3	23.2	24.5	18.1
Ciudad del Este	Alta Paraná	22.4	22.4	18.9	16.4	12.3	10.3	11.4	12.9	15.5	19.0	22.8	22.8	17.3
Villarrica	Guairá	22.7	21.9	18.6	16.4	12.6	10.4	11.5	13.7	15.9	19.4	23.3	23.0	17.4
Carapeguá	Paraguari	21.9	21.9	18.0	16.5	11.7	9.9	9.9	11.5	14.7	18.9	22.9	22.2	16.7
San Juan Bautista	Misiones	22.9	21.6	18.2	15.7	11.8	10.1	9.9	12.3	16.3	19.5	23.1	22.8	17.0
Encarnación	Itapúa	22.3	22.2	17.2	15.5	11.5	10.0	10.4	12.2	15.3	18.6	21.2	23.0	16.6

Figura 1 Fuente INTN promedio de radiación solar global diaria en MJ/m<sup>2</sup>.

Desde el punto de vista del suministro de energía de la comunidad Nivaclé de Tiberia del distrito de Loma Plata, del departamento de Boquerón, no dispone de una fuente de energía eléctrica convencional en la mayor parte de la comunidad,

pero se dispone de radiación solar suficiente, quedando como opción factible la fuente de energía eléctrica solar para alimentar las trampas.

### Lugar de Instalación

Las 55 precarias viviendas de la comunidad se encuentran separadas entre sí aproximadamente 100 metros. Sin embargo, solo se dispone de 20 trampas con sensores, por lo que fueron elegidos 20 viviendas que no disponen de energía eléctrica, separadas entre sí aproximadamente 600 metro, en la figura 2 presenta las viviendas del sitio de estudio.



Figura 2 Sitio de estudio vivienda indígena en el Chaco Paraguayo.

### Topología del Diseño

La topología de conexión está conformada básicamente por módulos: un banco de baterías de Ion Litio, un Panel solar, un Cargador de baterías de litio, Protección de baterías, Regulador de salida. Mostrada en la figura 3.

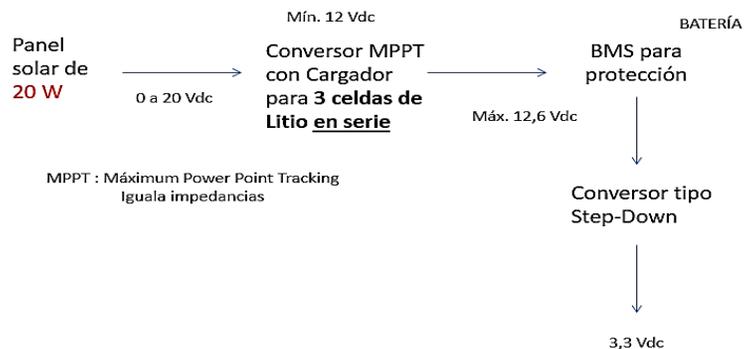


Figura 3 Topología de diseño del cargador de baterías de Ion Litio.

## Requerimientos de Potencia

Para determinar el alcance máximo se necesitan los valores promedios de tensión 3.3 V, corriente máxima de 150 mA, la potencia requerida del dispositivo a alimentar. Potencia requerida es de 495 mW, aproximadamente de 0.5 W.

## Banco de Baterías de ion litio

Uno de los requisitos es el almacenamiento de energía, para esto se toma como base la implementación de una batería eléctrica, como dispositivo que almacena energía eléctrica usando procedimientos electroquímicos. Para obtener el dimensionamiento de la capacidad del banco de baterías se tuvo en cuenta el requerimiento de potencia del equipo que tiene un consumo promedio de 0,5 W. Se identifica la cantidad de horas que el consumo será aplicado al banco de baterías en watts por hora. Como el sistema debe estar siempre alimentado se toma 24 horas y a modo de seguridad 2 días de autonomía (2 días nublados). Se calcula la energía aplicando la ecuación 1.

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

Donde:

- $P$  : Potencia requerida.  
 $t$  : Tiempo  
 $E$  : Energía

## Dimensionamiento de Celdas para el Banco de Baterías

Teniendo en cuenta algunos factores para seleccionar la capacidad de la batería:

- Energía requerida: Consumo a alimentar
- Rendimiento de la Batería: las baterías no se descargan al 100 % de su capacidad, con lo cual se necesita reservar un 25% de la capacidad de la batería.

## Cálculos Obtenidos

- Energía requerida: 24 Wh
- Corrección de rendimiento de batería (75%): 32 Wh

En la figura 4 se observa la celda seleccionada Panasonic NCR18650B y figura 5 las especificaciones técnicas de la batería Panasonic NCR186509B [SANYO, 2012].



Figura 4 Celda de ion litio NCR18650B.

Rated capacity <sup>(1)</sup>	Min. 3200mAh
Capacity <sup>(2)</sup>	Min. 3250mAh Typ. 3350mAh
Nominal voltage	3.6V
Charging	CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs
Weight (max.)	48.5 g
Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C
Energy density <sup>(3)</sup>	Volumetric: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg

<sup>(1)</sup> At 20°C <sup>(2)</sup> At 25°C <sup>(3)</sup> Energy density based on bare cell dimensions

Figura 5 Tabla de especificaciones técnicas de la batería.

### Conexión de la batería

La capacidad y tensión de cualquier batería dependerá de la capacidad de cada celda, y de cómo están conectadas entre sí.

En una conexión en serie la tensión del conjunto aumentará, y la capacidad de la asociación no se verá afectada, la tensión total del conjunto es igual a la tensión nominal de la celda por el número de celdas, ecuación 2.

$$C = \frac{P}{n T_{nominal}} \quad (2)$$

Donde:

$C$  : Capacidad.

$n$  : Número de celdas.

$T_{nominal}$ : Tensión nominal.

Se calcula número de celdas ( $n$ ), despejando de la ecuación 3.

$$n = \frac{P}{C T_{nominal}} \quad (3)$$

Por lo tanto, de la ecuación 3, se requiere de 3 (tres) pilas conectadas en serie para disponer de un banco de baterías de Capacidad 3200 mAh, con tensión nominal resultante de 10.8 V

### Panel Solar

Para la selección del panel solar se parte de la energía requerida por el dispositivo a alimentar, cuyo consumo es de 0.5 W.

### Dimensionamiento del Panel Solar Requerido

- Energía consumida por el sensor en un día, el consumo requerido es de 30 Wh (considerando 2 (dos) días nublados y asumiendo un rendimiento de 0.75 en el sistema), aplicando la ecuación 1 se tiene que  $E = 32 Wh$ .
- Energía del Panel solar, la potencia eléctrica generada en condiciones estándares para la incidencia de la luz se mide en  $W_p$  (Watt peak, potencia pico), por la radiación solar promedio, ecuación 4.

$$E_p = E_s \quad (4)$$

Donde:

$E_p$  : Energía panel.

$E_s$  : Energía del conjunto, ecuación 5.

$$E_s = W_p * R_{s_{prom}} \quad (5)$$

Donde:

$W_p$  : Potencia pico.

$R_{s_{prom}}$  : Radiación solar promedio.

Utilizando la gráfica de figura 6, la radiación solar promedio para la zona de estudio es de 3,180 kWh/m<sup>2</sup>/día, provista por el Viceministerio de Obras Públicas y Energía (2011). Entonces, de la ecuación 5 se tiene que  $W_p = 10.06 W$ .

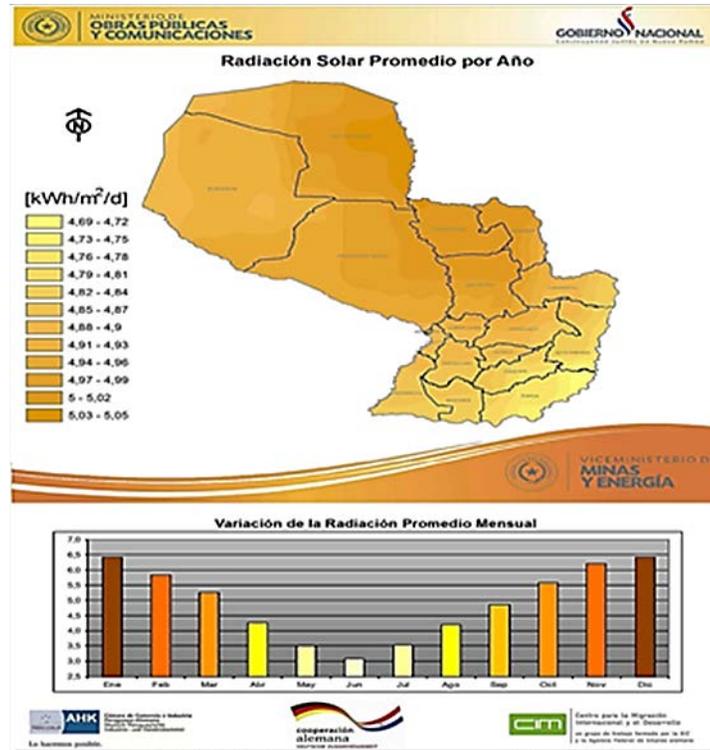


Figura 6 Radiación solar promedio (viceministerio de obras públicas y energía).

El panel seleccionado por disponibilidad en el laboratorio es el Modelo YL20P-17b 1/6 el cual tiene las siguientes características relevantes [Solar Systems, 2014]:

- Potencia máxima: 20 W
- Voltaje a máxima potencia: 17.1 V
- Corriente a máxima potencia: 1.17 A

### Factores de Eficiencia de un Panel Solar

- **Punto de Máxima Potencia.** Un panel solar puede entregar un amplio rango de tensiones y corrientes, en función de la resistencia de carga, o de la impedancia del panel, desde cortocircuito a circuito abierto; siendo posible determinar el punto de máxima potencia teórica, donde obtendremos el mayor valor de tensión frente la corriente eléctrica, la máxima potencia para cierto nivel de radiación, el MPP (del inglés Maximum Power Point, o punto de máxima potencia). En la figura 7 se muestra que este nivel se suele alcanzar aproximadamente al 80% de la tensión de circuito abierto.

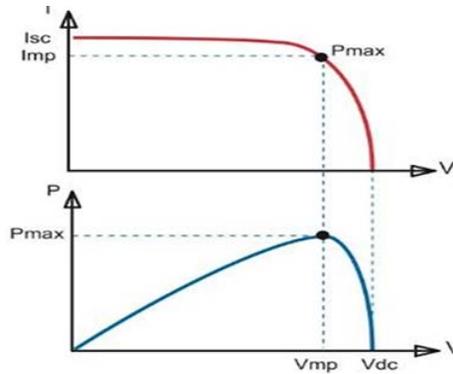


Figura 7 Punto de máxima potencia de un panel solar.

- **Eficiencia en la Conversión de Energía.** Porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica, cuando el panel está conectada a una carga, dada por la ecuación 6 [Cepeda, 2017].

$$\eta = \frac{P_m}{E * A_c} \quad (6)$$

Donde:

$P_m$  : Punto de potencia máxima.

$E$  : Luz incidente ( $W/m^2$ ) condiciones estándar STC.

$A_c$  : Área superficial de la célula ( $m^2$ ).

$\eta$  : Eficiencia de la conversión de energía

- **Factor de Llenado  $FF$ .** Relación entre el punto de máxima potencia, tensión a circuito abierto e intensidad de cortocircuito, dada por la ecuación 7 [Cepeda, 2017]. Suele ser superior al 75% en paneles de buena calidad.

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} I_{SC}} \quad (7)$$

Donde:

$V_{oc}$  : Tensión de circuito abierto

$I_{SC}$  : Intensidad de cortocircuito

### Dependencia de la Radiación

La intensidad de cortocircuito  $I_{SC}$  es proporcional al número de fotones absorbidos por el semiconductor, y es proporcional a la intensidad de la luz incidente como se observa en la figura 8 [Abreu, 2015].

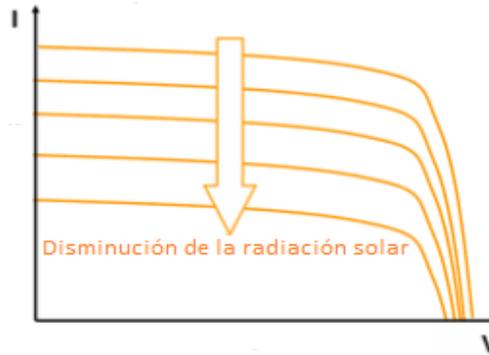


Figura 8 Dependencia de un panel solar con la radiación.

### Dependencia con la Temperatura

Conforme aumenta la temperatura, la banda prohibida del semiconductor se contrae, por lo que la tensión de circuito abierto  $V_{oc}$  disminuye. A la vez, permite que sea absorbida mayor energía ya que un porcentaje mayor de la luz incidente tiene energía suficiente para pasar los portadores de la banda de valencia a la banda de conducción, con el consiguiente aumento de la corriente. Hasta aquí, todo parece positivo, sin embargo, a medida que la temperatura aumenta, la resistencia interna del material crece, disminuyendo la conductividad. El incremento de corriente para un aumento de temperatura dada es proporcionalmente menor que la disminución de la tensión, por lo tanto, se reduce la eficiencia del panel. En la figura 9 se aprecia el comportamiento del panel solar con la radiación [Abreu, 2015].

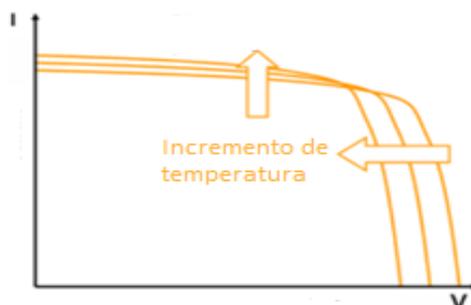


Figura 9 Dependencia de un panel solar con la temperatura.

### Cargador de batería de litio

Uno de los factores más importantes para la eficiencia del panel solar es el Punto de Máxima Potencia, en donde la transferencia de potencia desde el panel hacia las

baterías y el dispositivo a alimentar es la máxima [SAUSED0, 2009]. El cargador de batería con el conversor MPPT (Maximum Power Point Tracker) es el empleado para que busque constantemente la máxima transferencia de potencia. El CN3722 es un controlador cargador de batería que opera en modo de conmutación PWM (Modulación de ancho de pulso) que puede ser alimentado por panel solar y posee función MPPT, está especialmente diseñado para cargar una o múltiples celdas de iones de litio con modo de corriente y voltaje constantes. Los controladores de carga con MPPT, siempre buscan el balance entre voltaje y corriente en el que los paneles solares operen a su máxima potencia.

Mediante los componentes externos al encapsulado mostrado en la figura 10, se configuraron las funciones del cargador y según la recta de carga de la figura 11, se obtienen los diferentes valores de corriente y voltaje para las distintas etapas de carga. [Consonance]. Características resaltantes:

- Voltaje de entrada: 7.5 a 28 V
- Corriente de carga hasta 5 A

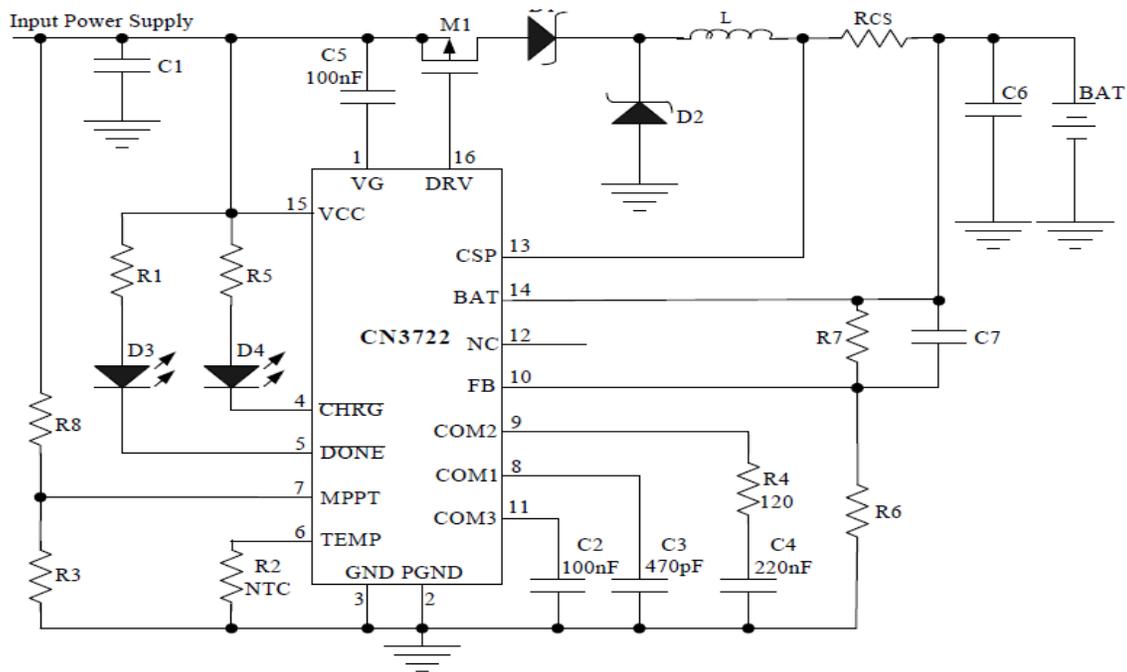


Figura 10 Circuito básico de implementación del CN3722.

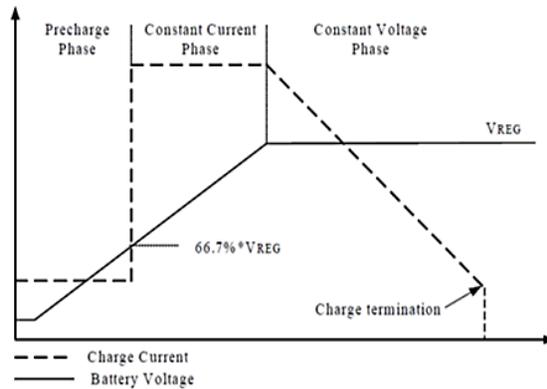


Figura 11 Curva de carga de una batería de litio.

### Protección de Celda de ion litio

El rango de operación seguro de una celda de litio convencional es de 2.5 a 4.2 V, cualquier voltaje en la celda fuera de este rango la destruye en cortos periodos de tiempo. La condición de sobre descarga se da cuando el voltaje en la celda es inferior a 2.5 V, lo cual puede ocurrir durante largos periodos de descarga en días nublados. Para proteger las baterías de esta condición se acude al circuito integrado DW01-G que tiene la función de desconectar del sistema la celda de litio cuando se aproxima a cualquiera de los márgenes de operación es decir si su voltaje es próximo a 2.5 o 4.2 V para así evitar que se dañe, para completar la solución se utilizan 3 de estos módulos uno por cada celda. En la figura 12 tenemos el esquema de protección para una celda de Ion Litio DW01-G. [Fortune, 2009]

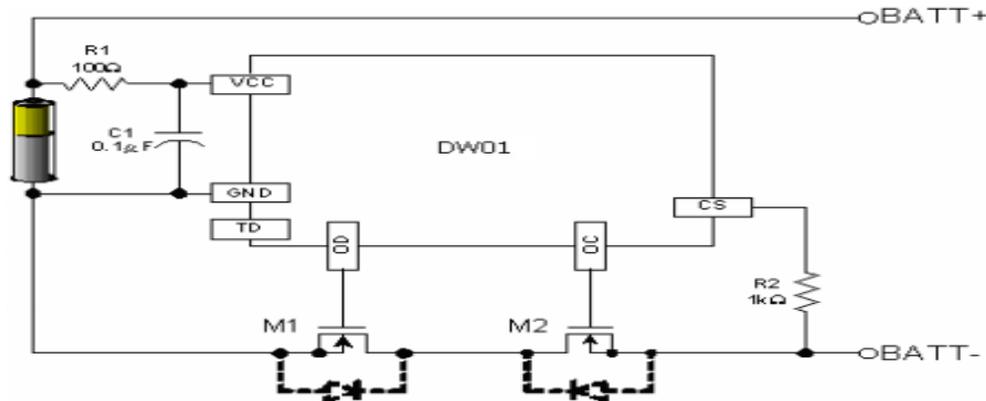


Figura 12 Esquema del circuito de protección para una celda de Ion Litio DW01-G.

## Regulador de Salida

Como la carga requiere de una alimentación de 3.3 V, en la etapa final se utiliza un regulador LM2596. La serie de reguladores LM2596 son circuitos integrados monolíticos que proporcionan todas las funciones activas para un regulador de conmutación reductor (step-down), capaz de manejar una carga 3 A con excelente regulación de tensión. Estos dispositivos están disponibles en voltajes de salida fijo de 3.3, 5 y 12 V, así como una versión de salida ajustable. Requiere un número mínimo de componentes externos, estos reguladores son simples de usar e incluye compensación interna de frecuencia, y una frecuencia fija de oscilador. Funciona a una frecuencia de conmutación de 150 kHz, lo que permite un filtro de menor tamaño y menor cantidad de componentes. La función principal de este regulador es convertir el voltaje del banco de batería (que está en el rango de 7.5 a 12.6 V) a 3.3 V que es el voltaje al que trabaja la carga, una ventaja importante que posee el regulador es la eficiencia en la conversión. La figura 13 muestra su conexión básica. [LM2596 ,2016]

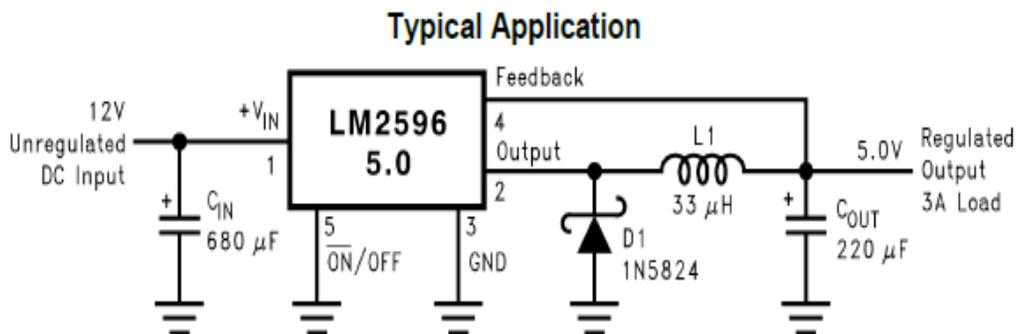


Figura 13 Esquema del circuito básico del convertidor DC-DC Lm 2596.

## 3. Resultados

### Instrumento Empleado

Para obtener la potencia y la energía se empleó un vatímetro digital que puede realizar mediciones desde 6 a 30 V y 0 a 150 A, como muestra la figura 14. Con este instrumento se pudo medir la energía entregada por el panel solar en distintas condiciones de nubosidad.



Figura 14 Vatímetro digital.

### Ensayo de Funcionamiento del Sistema

Para verificar todo el sistema se empleó el vatímetro digital para verificar la energía entregada por el panel solar al cargador y a la trampa. Al final de esta prueba que duro 5 días se analizaron los resultados obtenidos en la tabla 1.

Tabla1 Energía absorbida por el sistema en distintas condiciones de nubosidad.

Voltaje inicial en baterías	Energía absorbida por el sistema	Nubosidad
11.55 V	4.9 Wh	Alta
10.86 V	20.8 Wh	Media
11.19 V	9.4 Wh	Alta
10.47 V	13 Wh	Alta
10.59 V	37 Wh	Baja

En los días con alta nubosidad el panel solar no recolectó suficiente energía como para reponer la descarga sufrida en la operación nocturna, pero en los días de media y poca nubosidad el sistema logra obtener satisfactoriamente la energía necesaria para cargar completamente la batería. En la figura 15 el montaje realizado en el laboratorio.



Figura 15 Energía absorbida por el sistema en distintas condiciones de nubosidad.

### **Prueba de Duración del Banco de Batería**

Otro experimento realizado para la validación, fue conectar a la salida del conversor una resistencia de 22 Ohm que actúa como carga, para luego medir el tiempo que tarda en activarse el módulo de protección dando como resultado un tiempo de 42 horas de operación continua. Luego de que la protección por sobre descarga se activa bastó con someter el sistema al ciclo de carga para que la protección sea deshabilitada y retome la operación normal. Adicionalmente se evaluaron las temperaturas generadas por la circuitería electrónica la cuales dando como máximo 35 °C para una temperatura ambiente de 25 °C

### **Montaje Final**

En la figura 16 se muestra el montaje básico de la solución elegida, en donde se puede observar: el soporte de batería, el cargador, el módulo de protección y el conversor de salida utilizado según la topología de conexión. Para el desempeño correcto y para brindarle protección a los diferentes módulos electrónicos se optó por colocar dentro de una caja estanca y luego fijar esta al panel solar y así facilitar su instalación en la locación definitiva. Al término de los ensayos, el sistema fue instalado en la comunidad de Tiberia (figura 17), donde las trampas detectoras operaron durante 33 días, operando el sistema sin interrupciones.



Figura 16 Montaje e instalación básico de la topología de conexión seleccionada.



Figura 17 Instalación del sistema en la comunidad de Tiberia.

## 4. Discusión

En la comunidad sin suministro de energía eléctrica inicialmente solo se usaron baterías para trampas con sensores. Durante los primeros 6 meses, las trampas funcionaron con baterías de iones de litio de 90 amperios-hora (Ah), que fueron reemplazadas/recargadas mensualmente. En los últimos 4 meses (abril a julio de 2017), las baterías relativamente grandes y pesadas han sido reemplazadas por un sistema de suministro de energía solar ininterrumpido, con baterías pequeñas (3 celdas de 3.6 V; 3200 mAh; ión de litio) que se recargan automáticamente por las células fotovoltaicas. Los módulos fueron monitoreados en todo momento.

Se probaron dos topologías de conexión entre las células fotovoltaicas y los circuitos internos. La primera topología mostrada en la figura 18 emplea un esquema de conexión de células fotovoltaicas de 20 vatios, que genera una corriente continua, pero voltaje variable relativo a la luz solar de 0 a 20 voltios, que se regula a 5 voltios por medio del convertidor reductor, el cual está basado en el circuito integrado LM2596 de 3 A y 150 kHz de frecuencia de conmutación. Luego, el módulo inteligente cargador de ion de litio paralelo de 3 celdas genera el voltaje y la corriente adecuados para la carga de la batería y el suministro de energía de la trampa. Por lo tanto, debe reajustarse a 3.3 voltios por medio del convertidor elevador/descendente compuesto por el módulo MT3608 de 4 A y 1.2 MHz de frecuencia de conmutación y el LM2596 nuevamente.

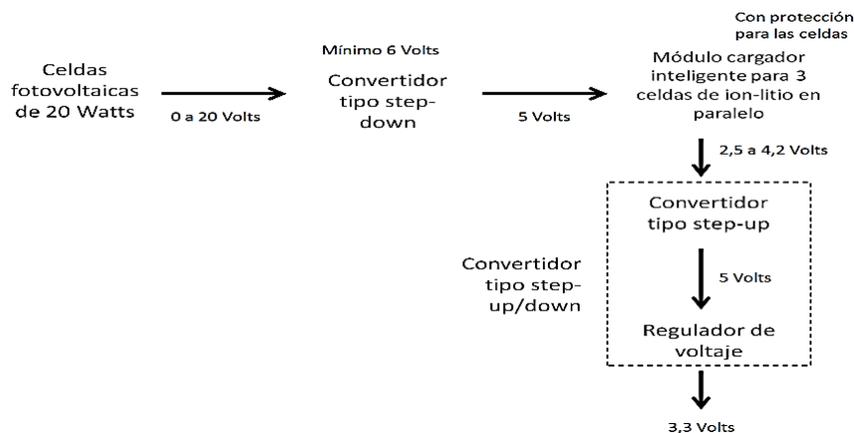


Figura 18 Sistema de provisión de energía ininterrumpida primera topología probada.

Una limitación observada en la primera topología fue el corte de la fuente de alimentación con el agotamiento de la batería. Esto es predecible que ocurra cuando tiene largos períodos de falta de luz solar adecuada. Sin embargo, en la configuración de la primera topología, los módulos del convertidor no se reinician una vez que se restaura la energía solar, permaneciendo permanentemente apagada. La segunda topología que se muestra en la figura 19 emplea un convertidor único y un módulo de cargador llamado MPPT (Maximum Power Point Tracking, por sus siglas en inglés) que aprovecha la energía de las células fotovoltaicas de manera más eficiente, basado en el módulo CN3722 con rango de voltaje de entrada de 7.5 a 28 V, frecuencia de operación de 300 kHz, capacidad de carga de hasta 5 A. Esta topología resultó ser la más segura para el esquema de conexión entre las células fotovoltaicas y la batería, pero se deben usar paneles de al menos 20 vatios para que pueda funcionar en días muy nublados de manera continuada. De esta forma, la batería podría agotarse después de un par de días sin luz solar adecuada, y cuando vuelva a haber buena luz solar, las trampas con sensores se reiniciarán automáticamente.

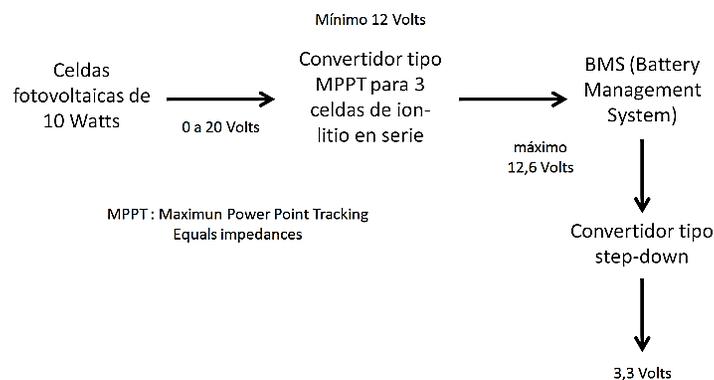


Figura 19 Sistema de provisión de energía ininterrumpida segunda topología probada.

## 5. Conclusiones

El objetivo principal propuesto al principio de este trabajo se ha alcanzado satisfactoriamente. Así como los objetivos particulares que llevan consigo el dimensionamiento y ensamblaje de los diferentes módulos que conforma el cargador de batería de litios con paneles solares.

Se ha conseguido alimentar con panel solar en forma permanente a los sensores de las trampas instaladas en Tiberia para la detección de las *Triatoma infestans* propósito principal de este trabajo. Uno de los elementos claves para la consecución de estos objetivos ha sido la topología empleada para las conexiones de los módulos electrónicos, a modo de garantizar su operación durante el día, la noche, días lluviosos o días nublados. Además, este método facilitó enormemente la instalación en gallineros o viviendas sin instalación eléctrica a modo de obtener la máxima eficiencia del cargador de batería de Litio.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Abreu, C; María del Carmen. 2005. Diseño de un Cargador de Baterías de Litio. Tesis. Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, España.
- [2] Cepeda, J. S., Sierra, A. 2017 Aspecto que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones. *Cepedajuan2017.pdf*
- [3] Céspedes, J. E. S., Avellaneda, J. C., & Henríquez, A. G. 2012. Diseño e implementación de un módulo de gestión de energía para un pico-satélite tipo CUBESAT. *Tecnura*, 16, 55-67.
- [4] Consonance 5A, Multi-Chemistry Battery Charger IC With Photovoltaic Cell MPPT Function CN3722: <http://www.consonance-elec.com/pdf/datasheet/DSE-CN3722.pdf>.
- [5] Fortune Semiconductor Corporation, 2009. DW01-G Datasheet: [https://www.ic-fortune.com/upload/Download/DW01-G-DS-10\\_EN.pdf](https://www.ic-fortune.com/upload/Download/DW01-G-DS-10_EN.pdf).
- [6] Gaona, F, Jara, A, Arias, F, Dorigo, D, Quiñonez, E, Monteiro, M, Rolón, M, Vega, M, Schaerer, C & Rojas, A. 2017. Detección de insectos vectores de la enfermedad de Chagas mediante trampa cebadas con sistemas automatizados y de lenta liberación. DEDIC/FP-UNA. Informe Técnico Final al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología/ CONACYT) Proyecto 2014-INV-037.60pp.
- [7] Pulfer, J. 2005. Diagnóstico del sector energético en el Área Rural de Paraguay. OLADE/Universidad de Calgary.

- [8] SANYO Energy (U.S.A), 2012: <https://www.batteryspace.com/prod-specs/NCR18650B.pdf>.
- [9] Saucedo, J. Octubre, 2009. Diseño de un cargador de Batería LI-ION para obtener la máxima potencia de un panel solar.
- [10] Solar Systems, 2014 YL020p-17b 1/7: <http://solarsystemsphilippines.com/wp-content/uploads/2012/09/20Watt-Yingli-Solar-Panel-Polycrystalline-by-SSPI.pdf>.
- [11] SNVS124D –November 1999–Revised May 2016, LM2596: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>.
- [12] Viceministerio De Minas Y Energías. 2011. Situación de Energías Renovables en el Paraguay: 50-51. [www.ssme.gov.py](http://www.ssme.gov.py).