



Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ciencias Físico, Matemáticas y Naturales
Ingeniería Electrónica con Orientación en Sistemas Digitales

Diseño, implementación y medición de dispositivos de cosecha de energía

Moreno Gelabert, Santiago
Ing. Ramero, Lucas

6 de Julio 2019

smgelabert@gmail.com

Un largo camino por recorrer I

- 1 **Introducción**
 - Motivación
 - Objetivo
- 2 **Visión General**
- 3 **Necesidades del proyecto WSN**
- 4 **Elementos de cosecha de energía**
 - Obtención del modelo matemático
 - Resultados caracterización del panel solar
 - Resultados caracterización de la celda peltier
 - Potencial del ambiente
- 5 **Elementos de almacenamiento de energía**
 - Magnitudes de los elementos de almacenamiento
 - Consideraciones para los almacenadores
 - Carga de los elementos de almacenamiento
 - Descarga de los elementos de almacenamiento



Un largo camino por recorrer II

- 6 Administrador de energía
 - Selección del administrador de energía
 - Administrador bq 25504
- 7 Diseños de PCBs
 - Adaptador DIP para el bq25504
 - PCB para el prototipo de cosechador de energía
- 8 Ensamble final del prototipo
- 9 Prueba de campo para el sistema de cosecha
- 10 Implementación de nodos
- 11 Conclusiones
- 12 Por último



Índice

- 1 **Introducción**
 - Motivación
 - Objetivo
- 2 Visión General
- 3 Necesidades del proyecto WSN
- 4 Elementos de cosecha de energía
 - Obtención del modelo matemático
 - Resultados caracterización del panel solar
 - Resultados caracterización de la celda peltier
 - Potencial del ambiente



Motivación

- Capturar energía del medio ambiente y aprovechar la misma para algún dispositivo eléctrico.
- Ampliar los conocimientos, madurar y crecer en el área de las energías limpias.
- Satisfacer las necesidades del Proyecto Campo Demostrativo Conectado.



Objetivo principal

Diseñar e implementar un prototipo de sistema de cosecha de energía, de baja potencia, capaz de capturar energía del medio ambiente.



Visión General I

¿Qué es un Nodo Sensor Inalámbrico?

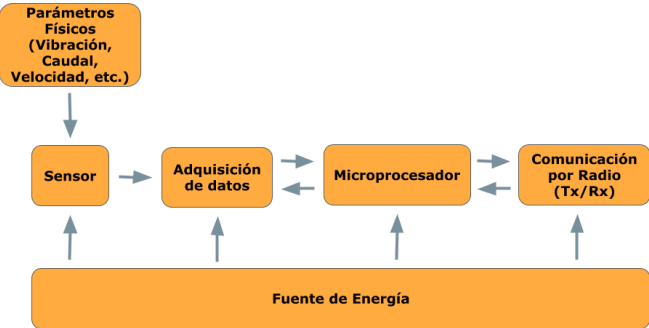


Figura: Diagrama de bloques general para un Nodo Sensor Inalámbrico.



Visión General II

¿Qué sucede cuando varios Nodos se combinan entre sí?

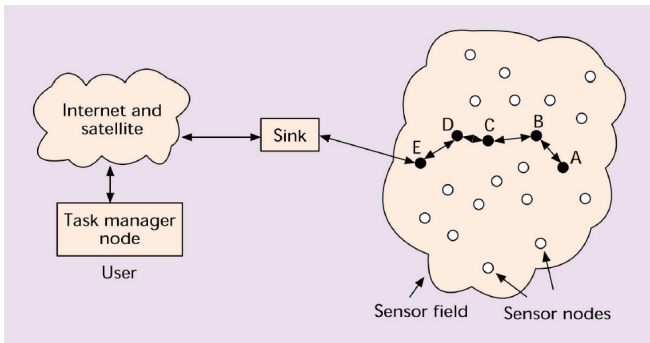


Figura: Arquitectura de WSN.



Visión General III

Example (Ejemplos de aplicación de las WSNs)

- Monitoreo de salud estructural
- Monitoreo ambiental
- Monitoreo en la salud
- Eficiencia energética
- Aplicaciones en el Agro



Problemática

Desde el punto de vista energético

- Hay requerimientos de dimensiones en los Nodos alimentados con baterías.
- Las WSNs suelen instarse en regiones de difícil acceso, ergo no es posible suministrar energía a través de cables o reemplazar baterías.
- Necesidad de suministrar energía para toda la vida útil de un Nodo.



Solución

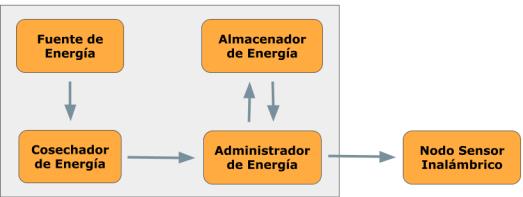


Figura: Flujo de energía para el sistema de cosecha y nodo sensor inalámbrico.

- Indicación de estado para el almacenador.
- Baja I_Q (*Quiescent Current*), que es la corriente consumida por un circuito cuando está en estado inactivo.
- Regulación de tensión máxima de salida.
- Protección contra corto circuito y sobre tensión para el almacenador.



Índice

- 1 Introducción
 - Motivación
 - Objetivo

- 2 Visión General

- 3 Necesidades del proyecto WSN

- 4 Elementos de cosecha de energía
 - Obtención del modelo matemático
 - Resultados caracterización del panel solar
 - Resultados caracterización de la celda peltier
 - Potencial del ambiente



Necesidades del proyecto WSN I

Ensayos realizados

Dispositivo	Configuración	Energía [Wh]
Arduino MEGA con	1	1.055
Dragino LoRa Shield 1.3	2	0.150

Cuadro: Resultados experimentales de las configuraciones a lo largo de 1 hora, operando en régimen estable.

- El consumo energético de las configuraciones es elevado.



Necesidades del proyecto WSN II

Investigando en foros y páginas oficiales

Elemento	Activo	Sleep
Arduino MEGA	45.54 [mWh]	12.87 [mWh]

Cuadro: Energía teórica consumida por arduino MEGA, con modificaciones de hardware y software.



Necesidades del proyecto WSN III

Según las especificaciones técnicas del Lora Shield

Elemento	Transmitiendo	Recibiendo	Sleep
Dragino LoRa Shield 1.3	66 [mWh]	37.95 [mWh]	0.0033 [mWh]

Cuadro: Energía consumida por el Lora Shield, configurado por software.



Índice

- 1 Introducción
 - Motivación
 - Objetivo

- 2 Visión General

- 3 Necesidades del proyecto WSN

- 4 Elementos de cosecha de energía
 - Obtención del modelo matemático
 - Resultados caracterización del panel solar
 - Resultados caracterización de la celda peltier
 - Potencial del ambiente



Elementos de cosecha de energía

¿Por qué se eligieron como elementos de cosecha de energía una panel solar y una celda peltier?

- Se pueden asociar.
- Fácil mantenimiento.
- Disponibilidad y cantidad de energía que proporcionan las diversas fuentes de energía.
- Potenciales aplicaciones en el proyecto WSN.

¿Para qué se caracterizaron elementos de cosecha de energía?

- Para poder obtener modelos matemáticos que representasen a los elementos, y así saber cual elemento entrega mayor energía, a lo largo de un día.



Obtención del modelo matemático I

$$FF = \frac{P_{max}}{P_{proy}} \quad (1)$$

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} * V_{oc}} \quad (2)$$

$$FF (G) * I_{sc} (G) * V_{oc} (G) = P_{max} (G) \quad (3)$$

$$FF (\Delta T) * I_{sc} (\Delta T) * V_{oc} (\Delta T) = P_{max} (\Delta T) \quad (4)$$

- Ensayo de FF vs G .
- Ensayo de I_{sc} , V_{oc} y G .
- Ensayo de FF vs ΔT .
- Ensayo de I_{sc} y ΔT .
- Ensayo de V_{oc} y ΔT .



Obtención del modelo matemático II

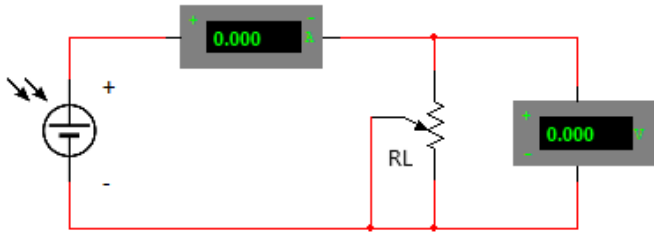


Figura: Conexión eléctrica elementos de cosecha para ensayo de FF vs ΔT ó G



Resultados caracterización del panel solar I

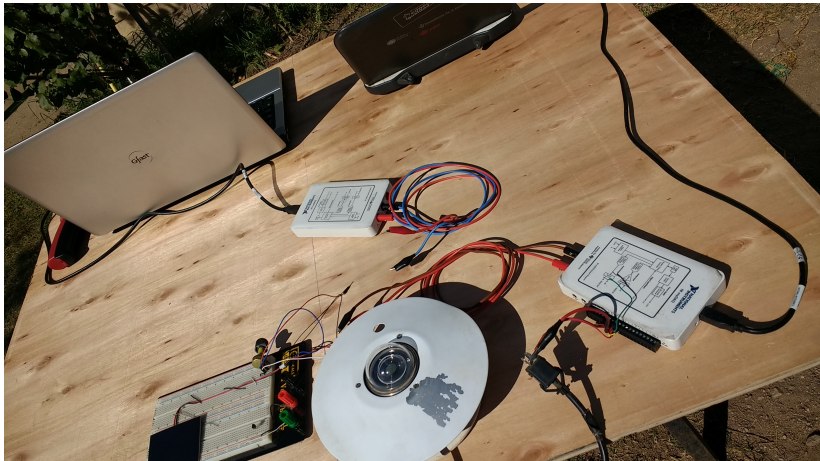


Figura: Banco de prueba para el panel solar.



Resultados caracterización del panel solar II

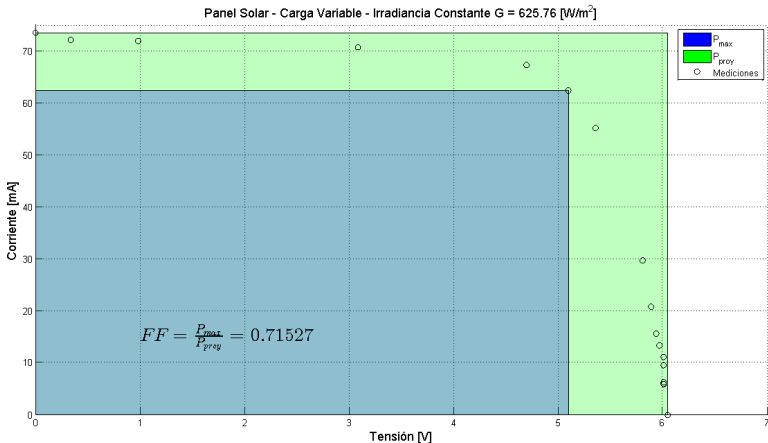


Figura: Mediciones para obtener un factor de forma sobre el panel.



Resultados caracterización del panel solar III

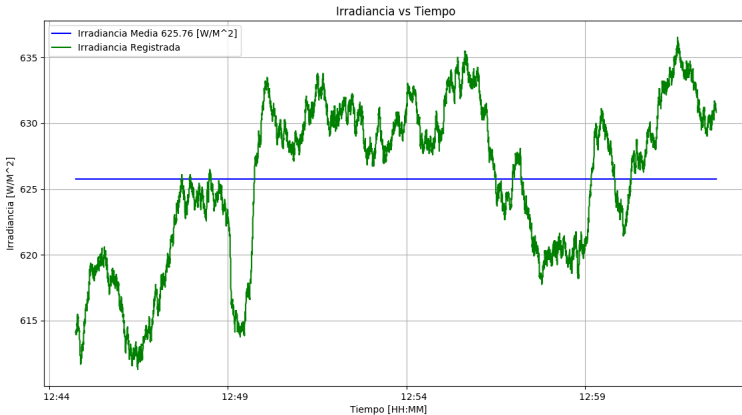


Figura: Irradiancia asociada a las mediciones anteriores.



Resultados caracterización del panel solar IV

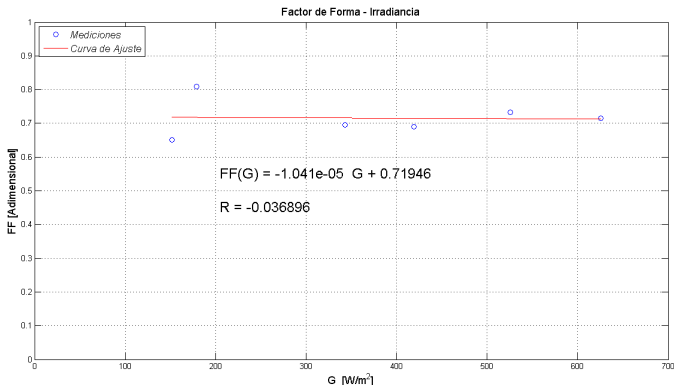


Figura: Superposición de los ensayos de factor de forma.



Resultados caracterización del panel solar V

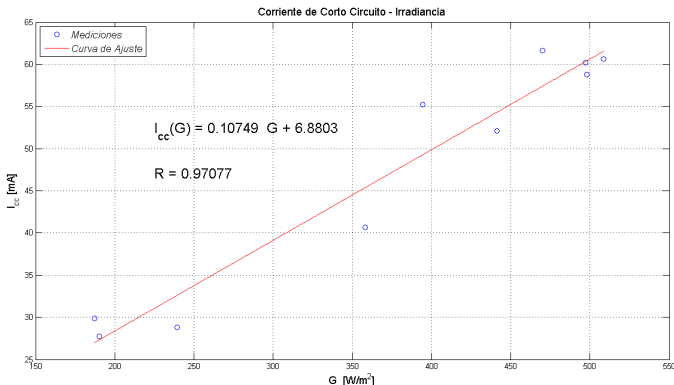


Figura: Mediciones del ensayo de I_{SC} y G .



Resultados caracterización del panel solar VI

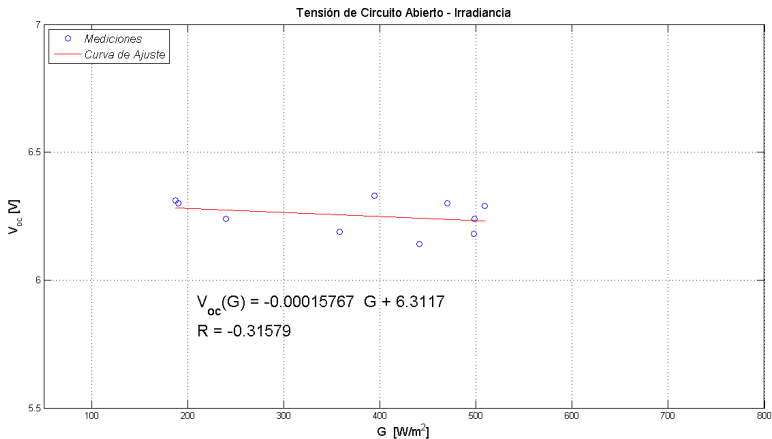


Figura: Mediciones del ensayo de V_{oc} y G .



Resultados caracterización del panel solar VII

Definición de $P_{max}(G)$ para el panel solar.

$$FF(G) * I_{sc}(G) * V_{oc}(G) = P_{max}(G) \quad (5)$$

$$-0,000012193 G^2 + 0,48733 G + 31,244 [mW] = P_{max} \quad (6)$$

¿Para qué valores de G es válida la ecuación?

Irradiancia comprendida entre $[151,7 ; 625,76] W/m^2$.



Resultados caracterización de la celda peltier I

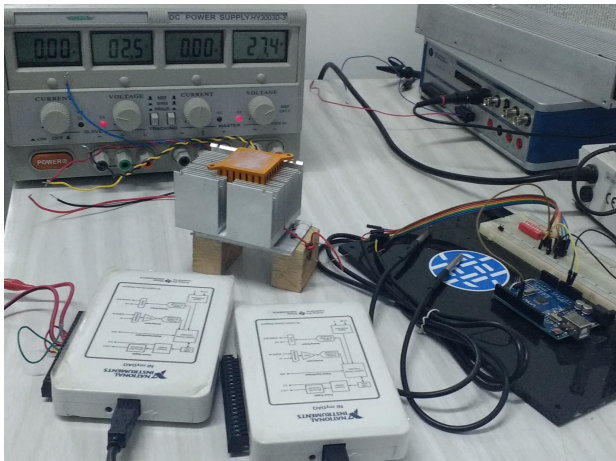


Figura: Banco de prueba para la celda peltier.



Resultados caracterización de la celda peltier II

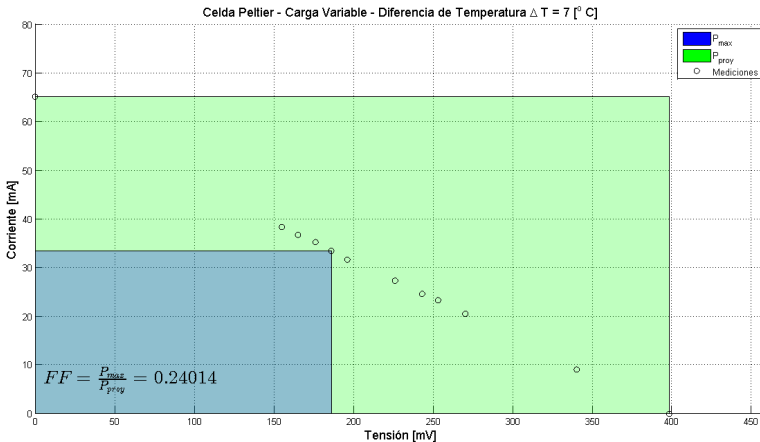


Figura: Mediciones para obtener un factor de forma sobre la celda.



Resultados caracterización de la celda peltier III

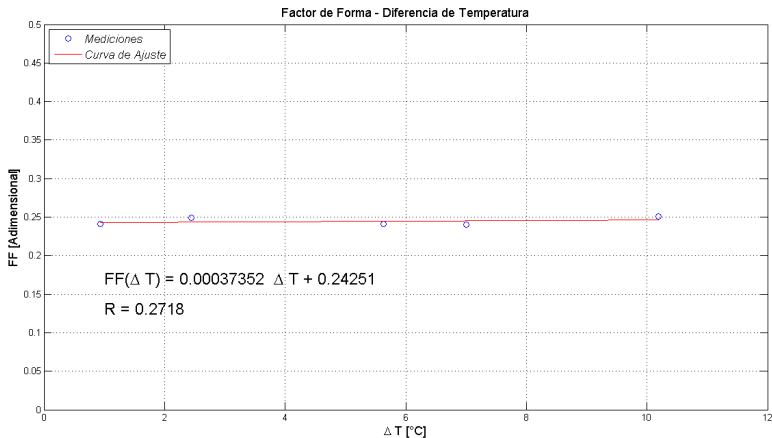


Figura: Superposición de los ensayos de factor de forma.



Resultados caracterización de la celda peltier IV

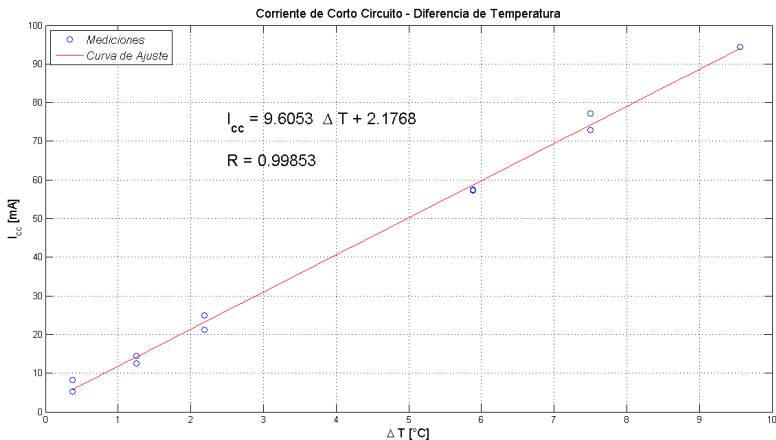


Figura: Mediciones del ensayo de I_{sc} y ΔT .



Resultados caracterización de la celda peltier V

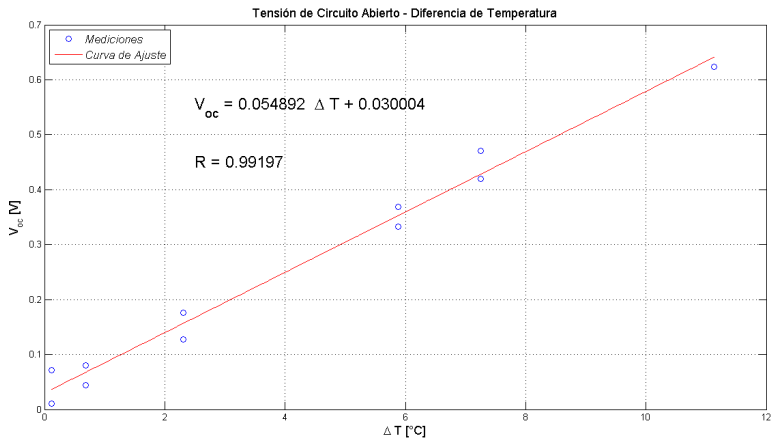


Figura: Mediciones del ensayo de V_{oc} y ΔT .



Resultados caracterización de la celda peltier VI

Definición de $P_{max}(\Delta T)$ para el panel solar.

$$FF(\Delta T) * I_{sc}(\Delta T) * V_{oc}(\Delta T) = P_{max}(\Delta T) \quad (7)$$

$$0,12786 \Delta T^2 + 0,098868 \Delta T + 0,015839 [mW] = P_{max} \quad (8)$$

¿Para qué valores de ΔT es válida la ecuación?

Para el intervalo de diferencia de temperaturas comprendidos entre $[0,94 ; 10,19] ^\circ C$.



Potencial del ambiente I

Días	21/06/2018 (Invierno)	21/12/2017 (Verano)
Irradiancia	132,09 [W/m^2]	374,61 [W/m^2]
Diferencia de Temperatura ^a	5,2167 [$^{\circ}C$]	5,5833 [$^{\circ}C$]

Cuadro: Datos extraídos del sistema NEO (NASA Earth Observations) y del sistema SMN (Servicio Meteorológico Nacional)

^aSegún la *Carta de Suelos de la República Argentina*, en San Luis, la temperatura media del suelo, a 50 cm, se estima en 19 °C.

$$-0,000012193 G^2 + 0,48733 G + 31,244 [mW] = P_{max} \quad (9)$$

$$0,12786 \Delta T^2 + 0,098868 \Delta T + 0,015839 [mW] = P_{max} \quad (10)$$



Potencial del ambiente II

Resultado de emplear los modelos matemáticos

Días	21/06/2018 (Invierno)	21/12/2017 (Verano)
P_{max} del Panel	95,40 [mW]	212,09 [mW]
P_{max} de la Celda	4,0113 [mW]	4,5538 [mW]

Cuadro: Potencia generada por los elementos de cosecha de energía.



Índice

- 5 Elementos de almacenamiento de energía
 - Magnitudes de los elementos de almacenamiento
 - Consideraciones para los almacenadores
 - Carga de los elementos de almacenamiento
 - Descarga de los elementos de almacenamiento
- 6 Administrador de energía
 - Selección del administrador de energía
 - Administrador bq 25504
- 7 Diseños de PCBs
 - Adaptador DIP para el bq25504
 - PCB para el prototipo de cosechador de energía
- 8 Ensamble final del prototipo
- 9 Prueba de campo para el sistema de cosecha



Magnitudes de los elementos de almacenamiento

Magnitudes calculadas para los dispositivos de almacenamiento

Elemento	Volumen [l]	Energía [Wh]	Densidad de energía [Wh/l]
Supercapacitor	0.0062	0.0354	5.6855
Batería LiPo	0.0075	7.4	981.0467



Consideraciones para los almacenadores I

Recomendaciones supercapacitor

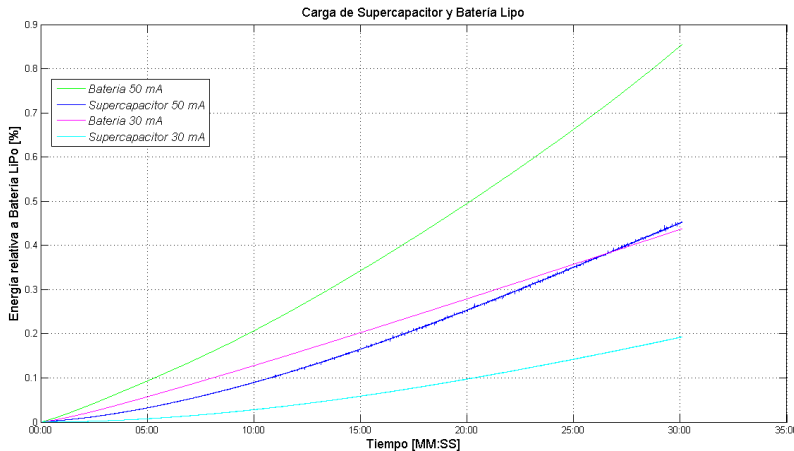
- Evitar cortocircuitos.
- No aplicar sobretensión, carga inversa, presión o temperaturas mayores de 150 °C.

Recomendaciones batería LiPo

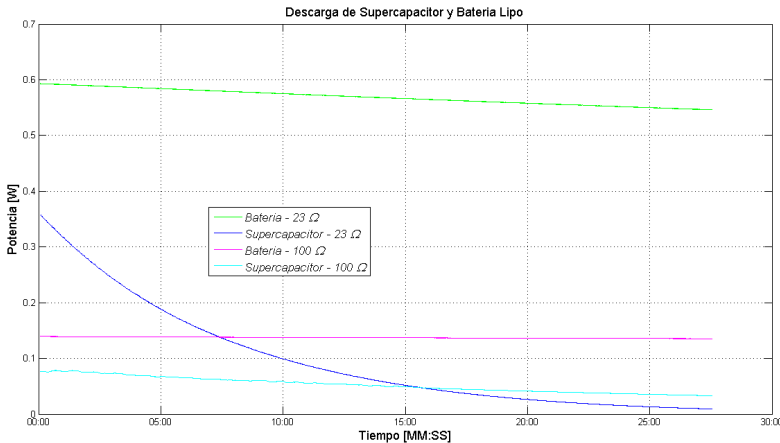
- Las baterías LiPo cargadas dentro de los límites de tensión (donde la tensión de operación se define entre 2,8 y 4,2 V) recomendados pueden proporcionar cientos de ciclos de carga y descarga.
- La carga y descarga de las baterías LiPo fuera de su ventana de tensión recomendada causa degradación física y pérdida de rendimiento.



Carga de los elementos de almacenamiento



Descarga de los elementos de almacenamiento



Índice

- 5 Elementos de almacenamiento de energía
 - Magnitudes de los elementos de almacenamiento
 - Consideraciones para los almacenadores
 - Carga de los elementos de almacenamiento
 - Descarga de los elementos de almacenamiento
- 6 **Administrador de energía**
 - Selección del administrador de energía
 - Administrador bq 25504
- 7 Diseños de PCBs
 - Adaptador DIP para el bq25504
 - PCB para el prototipo de cosechador de energía
- 8 Ensamble final del prototipo
- 9 Prueba de campo para el sistema de cosecha



Selección del administrador de energía

Name	Manufacturer	Quiescence Current (I_Q)	Sensitivity	Output Voltage	Energy Source
¹ LTC3107	Linear Technology	80 nA (Harvesting) 60 μ A (No harvesting)	20 mV	4.3 V	Thermal energy
² bq25505	Texas Instrument	325 nA	330 mV (Start-up) 100 mV (After start-up)	5.0 V	Solar energy, Thermal energy
³ SPV1050	STMicroelectronics	-	180 mV	3.6 V	Solar and thermal energy
⁴ MAX17710	MAXIM	625 nA	0.75 V	6.0 V	RF, solar, and thermal energy
⁵ PCC110	Powercast	Peak efficiency: 75 %	-17 dBm	-	RF (100 MHz ~ 6 GHz)

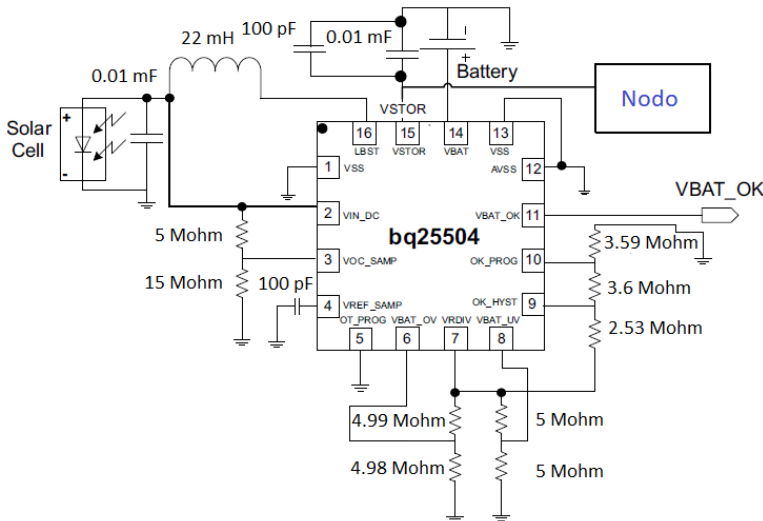
¹<http://www.linear.com/product/LTC3107>
²<http://www.ti.com/product/bq25505>
³http://www.st.com/web/catalog/sense_power/FM142/CL1810/SC1517/PF259832?icmp=spv1050_pron_pr-spv1050_dec2013
⁴<http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/7183>
⁵<http://www.powercasteo.com/PDF/PCC110-PCC210-Overview.pdf>

Figura: Administradores de energía comerciales.

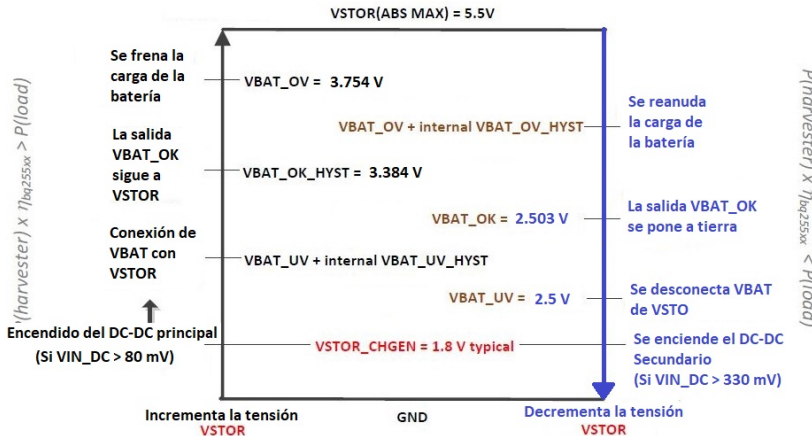


Administrador bq 25504

Solar Application Circuit



Funcionamiento del administrador bq 25504



Índice

- 5 Elementos de almacenamiento de energía
 - Magnitudes de los elementos de almacenamiento
 - Consideraciones para los almacenadores
 - Carga de los elementos de almacenamiento
 - Descarga de los elementos de almacenamiento
- 6 Administrador de energía
 - Selección del administrador de energía
 - Administrador bq 25504
- 7 Diseños de PCBs
 - Adaptador DIP para el bq25504
 - PCB para el prototipo de cosechador de energía
- 8 Ensamble final del prototipo
- 9 Prueba de campo para el sistema de cosecha



Adaptador DIP para el bq25504

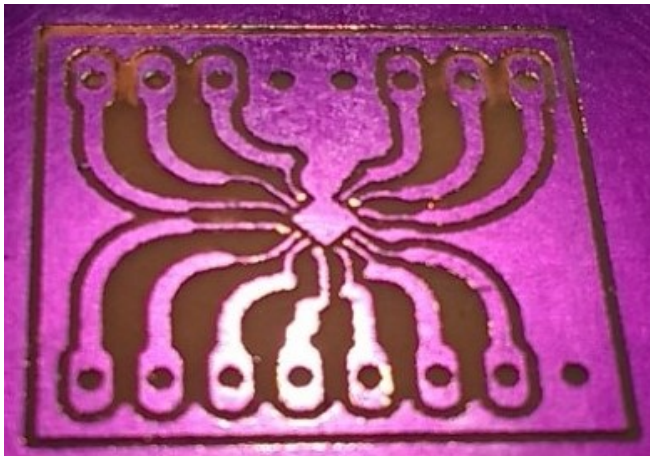


Figura: Adaptador SMD a DIP, después de la remoción del cobre expuesto.



PCB para el prototipo de cosechador de energía

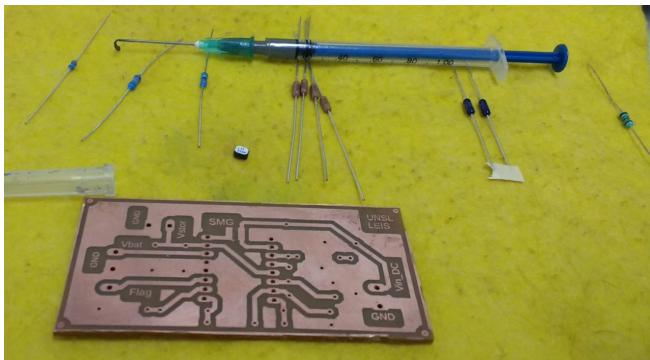


Figura: PCB para el prototipo de cosechador de energía junto algunos componentes.

Índice

- 5 Elementos de almacenamiento de energía
 - Magnitudes de los elementos de almacenamiento
 - Consideraciones para los almacenadores
 - Carga de los elementos de almacenamiento
 - Descarga de los elementos de almacenamiento
- 6 Administrador de energía
 - Selección del administrador de energía
 - Administrador bq 25504
- 7 Diseños de PCBs
 - Adaptador DIP para el bq25504
 - PCB para el prototipo de cosechador de energía
- 8 Ensamble final del prototipo
- 9 Prueba de campo para el sistema de cosecha



Ensamble final del prototipo

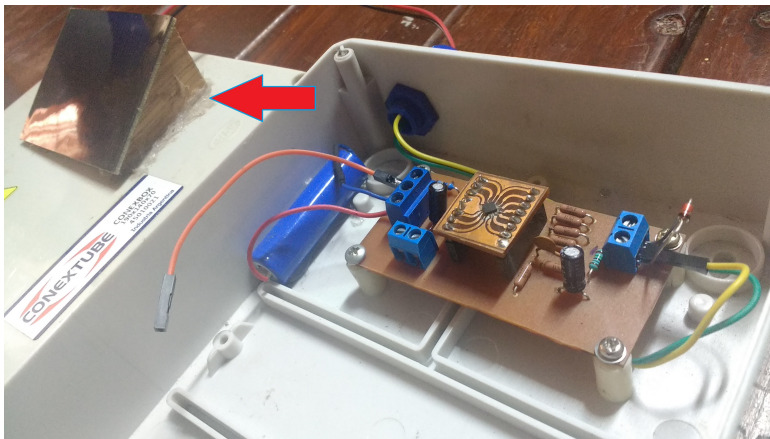


Figura: Ensamble final del prototipo.



Índice

- 5 Elementos de almacenamiento de energía
 - Magnitudes de los elementos de almacenamiento
 - Consideraciones para los almacenadores
 - Carga de los elementos de almacenamiento
 - Descarga de los elementos de almacenamiento
- 6 Administrador de energía
 - Selección del administrador de energía
 - Administrador bq 25504
- 7 Diseños de PCBs
 - Adaptador DIP para el bq25504
 - PCB para el prototipo de cosechador de energía
- 8 Ensamble final del prototipo
- 9 Prueba de campo para el sistema de cosecha



Prueba de campo para el sistema de cosecha

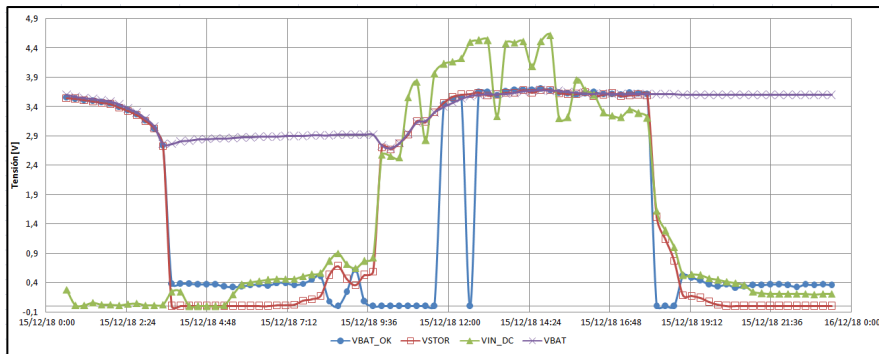


Figura: Datos del día 15/12/18, resistencia de 97 ohm.



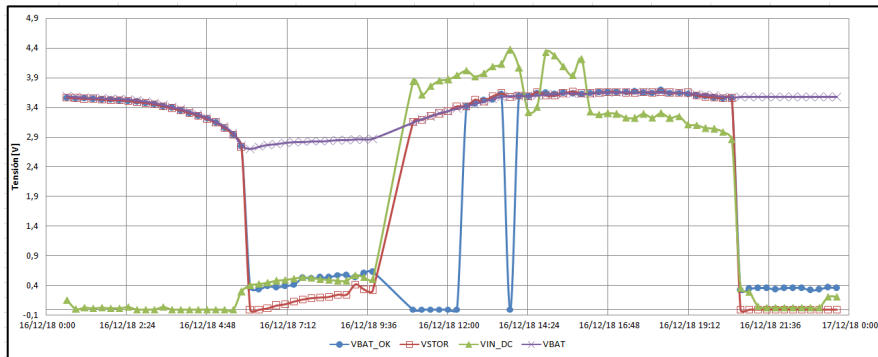


Figura: Datos del día 16/12/18, resistencia de 175 ohm.



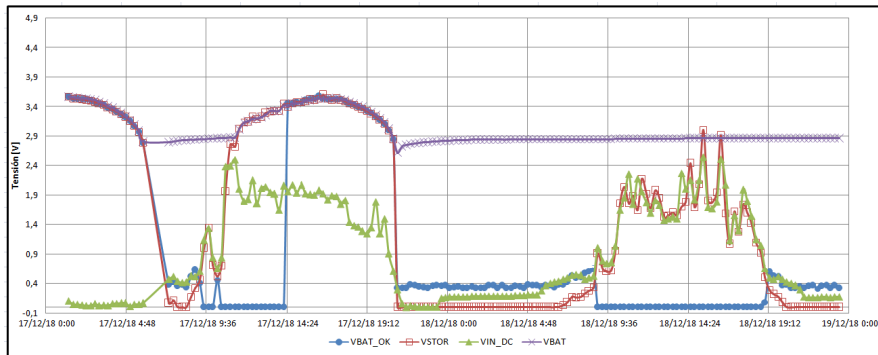


Figura: Datos de los días 17 y 18/12/18, resistencia de 175 ohm.

(La energía consumida fue 634,5 mWh y 160 mWh)



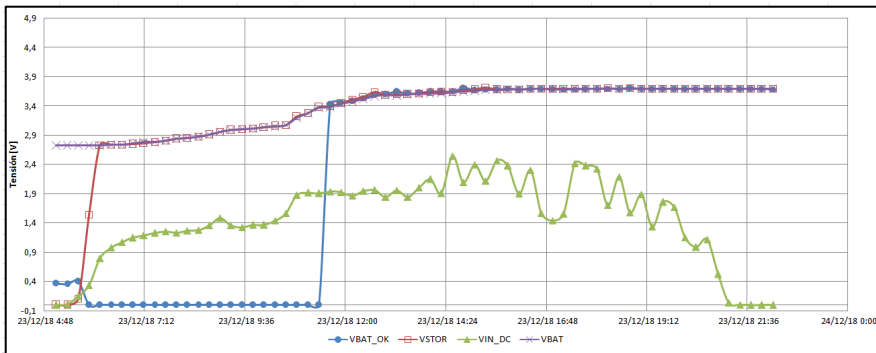


Figura: Datos del día 23/12/18, sin resistencia.



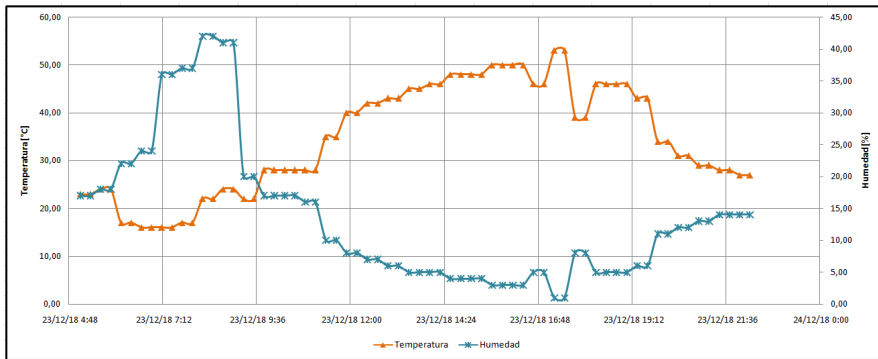


Figura: Datos del día 23/12/18, sin resistencia.



Índice

10 Implementación de nodos

11 Conclusiones

12 Por último



Implementación de nodos

$$\bar{P}_g \geq \bar{P}_c \quad (11)$$

$$\bar{P}_c = D_{Tx} P_{Tx} + D_{Rx} P_{Rx} + D_{sleep} P_{sleep} \quad (12)$$

$$D = \frac{t_{activo}}{t_{activo} + t_{inactivo}} = \frac{t_{activo}}{t_{periodo}} \quad (13)$$



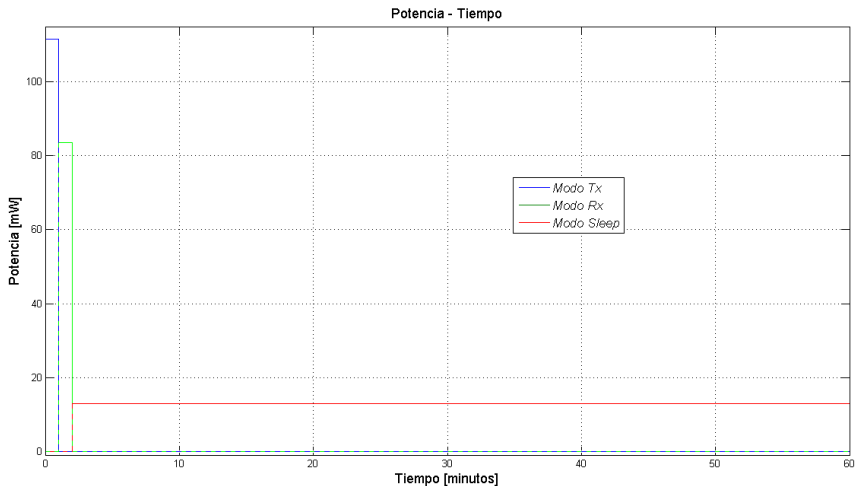


Figura: Potencia consumida por los estados del nodo.



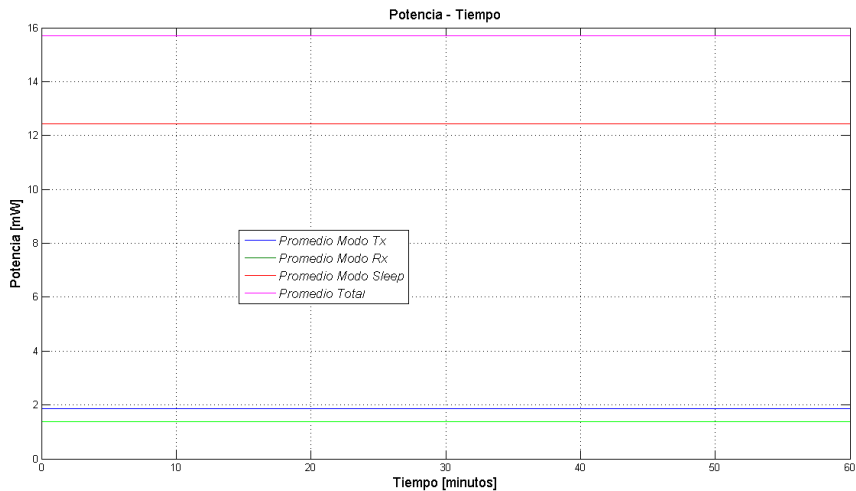


Figura: Potencia promedio de los estados.

Según los resultados de los días 17 y 18 ; 634,5 *mWh* y 160 *mWh*; 40,43 y 10,19 *hs*.



Índice

10 Implementación de nodos

11 Conclusiones

12 Por último



Conclusiones I

Objetivo principal

- El objetivo principal es diseñar e implementar un prototipo de sistema de cosecha de energía, de baja potencia, capaz de capturar energía del medio ambiente.



Conclusiones II

Objetivos específicos

- Caracterizar eléctricamente los elementos de cosecha de energía.
- Caracterizar eléctricamente los elementos de almacenamiento.
- Diseñar PCB con la capacidad de calibrar los umbrales de sobretensión y subtensión para proteger los elementos en donde se almacena la energía.
- Mediante pruebas en campo, cumple con las necesidades del proyecto WSN.



Índice

10 Implementación de nodos

11 Conclusiones

12 Por último



Preguntas



Agradecimientos

*«Si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a
hombros de gigantes»*

Isaac Newton

