

# MINI SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA EL USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES EN ZONAS RURALES: OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA ENTREGADA Y CONSUMIDA

**Sergio Rocabado** – srocabad@cidia.unsa.edu.ar

Universidad Nacional de Salta (UNSa), Facultad de Ciencias Exactas

**Carlos Cadena** – cadenacinenco@gmail.com

**Andrés Cadena** – andresmcadena@gmail.com

INENCO – Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (UNSa - CONICET)

**Javier Díaz** – jdiaz@unlp.edu.ar

L.IN.T.I. – Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas (UNLP)

**Resumen.** En este trabajo se presenta un estudio preliminar de estrategias para el uso de dispositivos móviles, con recarga del acumulador basada en energía solar fotovoltaica. Su empleo está previsto en zonas aisladas que se encuentren fuera del alcance de los centros de distribución de energía. Como primer paso, se estableció la cantidad de energía que consume un dispositivo móvil para ejecutar aplicaciones de uso frecuente en zonas rurales. Luego, tomando como parámetro valores de radiación solar de referencia y sin utilizar baterías externas, se midió la potencia que entrega un panel fotovoltaico de treinta y seis celdas en serie y se verificó que el mismo sea capaz de satisfacer los requerimientos de energía del celular. Finalmente se probaron distintas configuraciones del panel, para lo que se procedió a levantar la capa de Tedlar posterior, soldando contactos en diferentes zonas del mismo. El mayor impacto positivo se consiguió, abriendo el módulo en su cara posterior lo que posibilita conectar dieciocho celdas en serie, en paralelo con otras dieciocho. Los resultados obtenidos en el trabajo experimental fueron comparados para establecer la mejora introducida por el uso de un módulo FV con esta última conexión. La optimización del sistema fotovoltaico incrementó la velocidad de carga de la batería del dispositivo y posibilitó la ejecución de un mayor número de aplicaciones móviles.

**Palabras clave:** Energía Solar fotovoltaica, dispositivos móviles, zonas rurales

## 1. INTRODUCCIÓN

Las zonas rurales aisladas de la Argentina se caracterizan, entre otros aspectos, por su baja densidad demográfica, población dispersa, cobertura de red celular limitada y carencia de servicio de distribución de energía eléctrica. Los habitantes de estas zonas utilizan energías alternativas, como paneles solares y grupos electrógenos, para cubrir necesidades energéticas elementales. La región Noroeste de Argentina (NOA) posee numerosas zonas de este tipo, donde las posibilidades de acceso a la información digital son prácticamente nulas debido a que es muy difícil suministrar energía eléctrica a los equipos computacionales (Ottavianelli, 2013).

Por su bajo consumo energético, respecto de computadoras convencionales, los dispositivos móviles (celulares, smartphones, tablets y otros) constituyen una alternativa viable para este tipo de zonas.

En este trabajo se presentan los resultados de una investigación que busca reducir el consumo de energía de los dispositivos móviles para facilitar su utilización en zonas rurales aisladas abastecidas con energía solar fotovoltaica. La propuesta busca solucionar las siguientes carencias de los pobladores de estas zonas: 1) Imposibilidad de acceso a información digital utilizando dispositivos móviles de bajo consumo energético y 2) Falta de equipamiento basado en energías renovables que garantice el uso continuo de dispositivos móviles y conexión permanente a la red celular.

## 2. DESCRIPCIÓN

El trabajo se encuentra dividido en 3 etapas: 1) Determinar los requerimientos de energía de un celular para ejecutar aplicaciones de uso frecuente en zonas rurales 2) Verificar que el sistema fotovoltaico, sin modificaciones, se ajuste a los requerimientos energéticos del celular y 3) Modificar el panel fotovoltaico para optimizar la potencia entregada .

### **Etapas 1: Determinar los requerimientos de energía de un celular para ejecutar tareas utilizadas en zonas rurales**

A continuación se enumeran los pasos para determinar el consumo energético del dispositivo móvil:

1. Seleccionar tareas de uso frecuente en la zona rural de estudio, entre otras se pueden mencionar: Navegación Web, acceso a correo electrónico, Geo-Posicionamiento, Reproducción de audio y video.
2. Asignar aplicaciones móviles para ejecutar las tareas, a continuación se mencionan ejemplos de tareas y aplicaciones: Navegación Web (Google Chrome, Mozilla firefox, Opera Mini), Mensajería instantánea (Whatsapp, Facebook Messenger, Google Hangout), GPS Tracking (Geo tracker, GPS hiking, My track).
3. Determinar el consumo energético de las aplicaciones para realizar la tarea asignada. La metodología de medición se encuentra detallada en trabajos previos de los autores: (Rocabado, 2015a) y (Rocabado, 2015b).
4. Establecer el consumo energético de las tareas. Para cada tarea se selecciona la aplicación que consuma menos energía para ejecutarla (eficiencia energética).

5. Agrupar las tareas en perfiles en función de los requerimientos informáticos de los pobladores y/o visitantes de la zona.
6. Determinar el consumo energético de cada perfil, en función del consumo de las tareas pertenecientes al perfil.

El requerimiento de energía del celular dependerá del perfil seleccionado para utilizar en la zona rural.

**Etapa 2: Verificar que el sistema fotovoltaico, sin modificaciones, se ajuste a los requerimientos energéticos del celular**

Se determina la energía que el sistema fotovoltaico utilizado es capaz de entregar al dispositivo móvil, tomando en cuenta: factores climáticos de la zona de despliegue (radiación solar y temperatura), características técnicas del panel utilizado y un factor de riesgo para condiciones climáticas desfavorables.

Conociendo la potencia suministrada por el sistema fotovoltaico, se establecen cuales son los perfiles que se podrán ejecutar cuando el celular se encuentre en la zona rural aislada. A continuación se presentan algunos ejemplos:

En la Fig. 1 se observa el consumo de energía del celular ( $C_0$ ) cuando se encuentra conectado pero en reposo a la espera de recibir órdenes (“stand by”), el remanente de energía (R) se puede aprovechar para ejecutar algún perfil de aplicaciones, en función de los requerimientos del usuario.

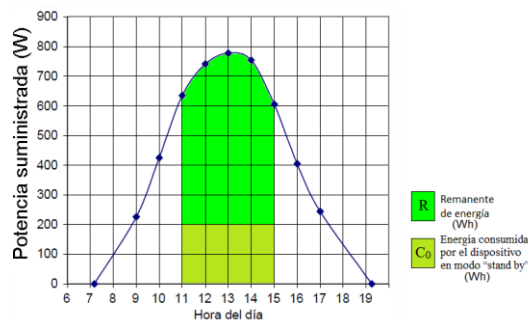


Figura 1 - Celular sin ejecutar aplicaciones, modo “stand by”

En la Fig. 2 se ilustra el consumo de energía del celular cuando se ejecuta un perfil de aplicaciones ( $P_1$ ), en el gráfico se observa que el sistema fotovoltaico entrega energía suficiente para ejecutar el perfil 1, de 11 a 15 (4 horas). El remanente (R) puede ser utilizado para cargar la batería del dispositivo móvil.

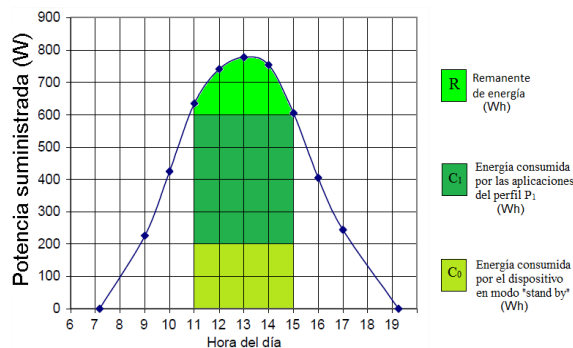


Figura 2 - Celular ejecutando aplicaciones sin déficit de energía

En la Fig. 3 se presenta un ejemplo de ejecución de perfil durante 4 horas (14 a 18), se observa un déficit de energía a partir de horas 15, déficit que se puede evitar utilizando la energía almacenada en la batería del celular. En condiciones climáticas favorables se puede estimar el tiempo de reposición del “préstamo energético”.

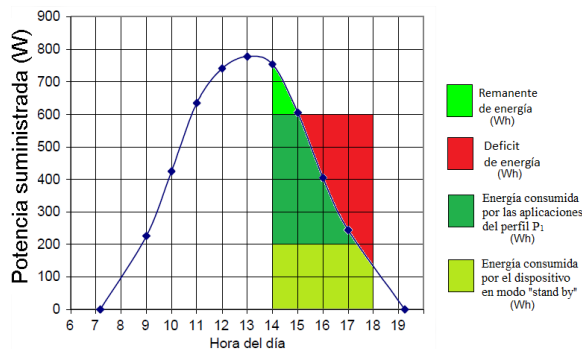


Figura 3 - Celular ejecutando aplicaciones con déficit de energía

### Etapa 3: Modificar el panel fotovoltaico para optimizar la potencia entregada

El voltaje que entrega un sistema fotovoltaico, generalmente, es superior al voltaje requerido por la batería del celular, por esta razón es necesario utilizar un circuito regulador de voltaje (Ej.: LM 1086). Se propone la modificación del panel fotovoltaico conectando celdas en paralelo, lo que genera un incremento de la corriente y la disminución del voltaje a la salida del panel, y en consecuencia se consigue un incremento de potencia a la salida del regulador (entregada al celular).

Para ilustrar este cambio, en la Fig. 4 se presentan dos sistemas fotovoltaicos de 4 celdas, donde cada celda es capaz de entregar un voltaje de 0,5 V y una corriente de 1 A. Se observa que la conexión de las celdas en serie entrega 2 V y una corriente igual a 1 A, mientras que la configuración en paralelo entrega una corriente mayor (4 A) y un menor voltaje (0,5 V).

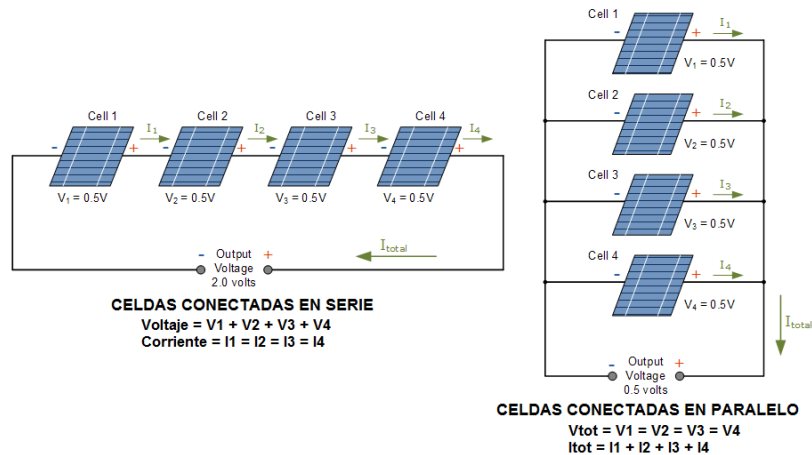


Figura 4 - Configuración de celdas fotovoltaicas en serie y paralelo

## 3. TRABAJO EXPERIMENTAL

### 3.1 Equipamiento utilizado

#### - Dispositivo móvil

La configuración del dispositivo móvil con el cual se realizaron las pruebas, es la siguiente:

Equipo: Samsung I9300I Galaxy S III Neo  
 CPU: Quad-core 1.4 GHz Cortex-A7  
 Chipset: Qualcomm MSM8226 Snapdragon 400  
 RAM: 1024MB RAM  
 SO: Android OS ver. 4.4.4 (KitKat)  
 Batería: Litio-ión, 2100 mAh, 3.7 V.

Este equipo fue especialmente preparado para minimizar el consumo de batería, se procedió entonces a: desinstalar las aplicaciones no indispensables para su funcionamiento, deshabilitar dispositivos de hardware no utilizados en las pruebas y habilitar el modo de bajo consumo.

#### - Panel Fotovoltaico

La configuración del panel fotovoltaico utilizado para las pruebas, es la siguiente:

Marca y modelo:	Jiawei 10WP
Área útil aproximada del panel:	$0,274 \times 0,4 = 0,1096 \text{ m}^2$
Tensión máxima:	17,4 V
Corriente máxima:	0,58 A
Radiación solar test:	$1000 \text{ W/m}^2$
Potencia nominal:	$0,58 \text{ A} \times 17,4 \text{ V} = 10 \text{ W}$

#### - Regulador de voltaje

Se utilizó un circuito conversor del tipo LM 1086 (regulador integrado de baja caída entre entrada – salida). Este es un dispositivo de muy alta eficiencia con excelente regulación de carga (del orden del 0,1%). Puede funcionar, cuando su salida es de 5 voltios, con tensiones incluso inferiores a los 7 voltios, considerando una caída de tensión de 2 voltios. Esto es, proporcionando una corriente máxima de 1,5 amperes.

### 3.2 Medición del consumo de energía del dispositivo

#### - Tareas y aplicaciones seleccionadas para las pruebas

En la Tab. 1 se presentan las tareas seleccionadas y las aplicaciones móviles asignadas a cada tarea. Las tareas fueron agrupadas en los siguientes perfiles: Perfil 1 (T<sub>1</sub>), Perfil 2 (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>) y Perfil 3 (T<sub>3</sub>)

Tabla 1 – Tareas y aplicaciones

TAREA	APLICACIONES
T <sub>1</sub> : Navegación Web	App <sub>1</sub> : Chrome; App <sub>2</sub> : Mozilla Firefox
T <sub>2</sub> : Mensajería instantánea	App <sub>3</sub> : Hangouts; App <sub>4</sub> : Whatsapp
T <sub>3</sub> : GPS Track	App <sub>5</sub> : My Track; App <sub>6</sub> : Geo Track

#### - Medición del consumo energético de las aplicaciones

El consumo de energía de las aplicaciones se midió utilizando la aplicación Trepro Profiler (Qualcomm Technologies, 2013) y (Qualcomm Technologies, 2014), esta herramienta utiliza sensores internos incorporados en los chipset Qualcomm para determinar con alta precisión el consumo de energía del sistema y de una aplicación en particular.

En la Fig. 5 se presentan capturas de pantalla de la aplicación Trepro Profiler. A la izquierda se observa el consumo de energía del celular (Profile system) y a la derecha se visualiza el consumo de energía de la aplicación Chrome al realizar una descarga de contenido web (Profile app).

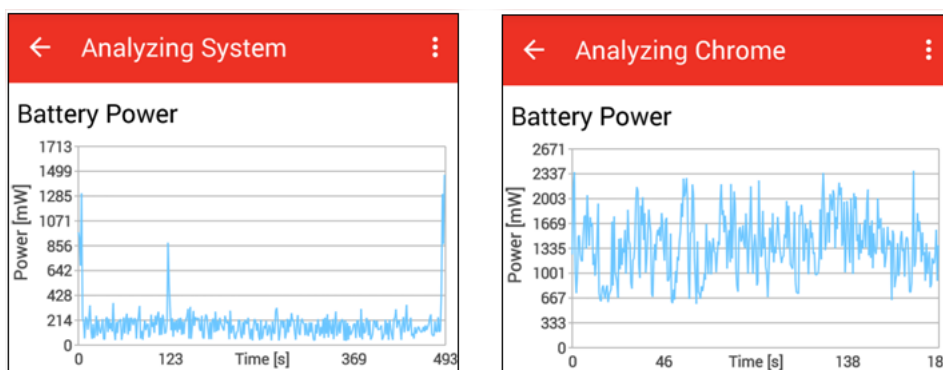


Figura 5 - Consumo de energía del celular en reposo y consumo de energía de una aplicación

En la Tab. 2 se presentan la potencia promedio y el consumo por hora para las aplicaciones asociadas a las tareas seleccionadas:

Tabla 2 - Consumo energético de las aplicaciones medido con Trepro Profiler

TAREA	APLICACIONES	POTENCIA PROMEDIO	ENERGÍA CONSUMIDA EN UNA HORA
T <sub>1</sub> : Navegación Web	App <sub>1</sub> : Chrome	1549 mW	1549 mWh
	App <sub>2</sub> : Mozilla Firefox	1711 mW	1711 mWh
T <sub>2</sub> : Mensajería instantánea	App <sub>3</sub> : Hangouts	1815 mW	1815 mWh
	App <sub>4</sub> : Whatsapp	1612 mW	1612 mWh
T <sub>3</sub> : GPS Track	App <sub>5</sub> : My Track	2350 mW	2350 mWh
	App <sub>6</sub> : Geo Track	2670 mW	2670 mWh

La energía consumida por las tareas en una hora será:

$$C(T_1) = \min(c(App_1), c(App_2)) = 1549 \text{ mWh (Chrome)}$$

$$C(T_2) = \min(c(App_3), c(App_4)) = 1612 \text{ mWh (Whatsapp)}$$

$$C(T_3) = \min(c(App_5), c(App_6)) = 2350 \text{ mWh (My Track)}$$

Y la energía requerida para ejecutar un perfil durante una hora será:

$$C(P_1) = C(T_1) = \mathbf{1549 \text{ mWh}}$$

$$C(P_2) = C(T_1) + C(T_2) = 1549 \text{ mW} + 1612 \text{ mW} = \mathbf{3161 \text{ mWh}}$$

$$C(P_3) = C(T_3) = 2350 \text{ mW} = \mathbf{2350 \text{ mWh}}$$

### 3.3 Ensayos realizados sin modificar el módulo

La Fig. 6 muestra la parte superior del módulo utilizado. Se trata de un generador que entrega unos 10WP en condiciones estándar de trabajo. Los primeros ensayos se realizaron con el módulo sin ninguna modificación.



Figura 6 - Vista de la parte superior del módulo

En la Tab. 3 se presenta el resumen de las mediciones realizadas el día 29/07/2015 de 8:00 a 19:00 en el Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional, ubicado dentro del campus de la Universidad Nacional de Salta. El día estuvo fresco y soleado como muchos días del invierno en Salta, la temperatura máxima observada fue de 15°C. Para cada hora del día se indica el promedio de las siguientes magnitudes: Radiación solar (medida con un Kipp&Zonenn CM3, sobre plano horizontal), corriente y voltaje; asimismo la potencia entregada al celular.

Tabla 3 – Mediciones realizadas sin modificar el panel

FRANJA HORARIA	RADIACIÓN SOLAR (W/m <sup>2</sup> )	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	POTENCIA ENTREGADA AL CELULAR (W)
07 - 08	50	0,01	15,68	0,05
08 - 09	100	0,06	16,26	0,3
09 - 10	300	0,15	16,59	0,75
10 - 11	450	0,24	16,76	1,2
11 - 12	600	0,34	16,87	1,7
12 - 13	676	0,39	16,99	1,95
13 - 14	706	0,4	17,04	2
14 - 15	674	0,39	16,99	1,95
15 - 16	574	0,33	16,85	1,65
16 - 17	369	0,19	16,68	0,95
17 - 18	191	0,1	16,49	0,5
18 - 19	30	0,02	15,77	0,1

En la Fig. 7 se representa mediante un histograma la energía entregada al celular en la franja horaria 7 a 19, se observa que el perfil P1 (que consume 1549 mWh) puede ser ejecutado durante 5 horas (de 11 a 16), con un remanente promedio igual a 0,301Wh que se calculó de la siguiente manera  $((1,70-1,54)+(1,95-1,54)+(2-1,54)+(1,95-1,54)+(1,65-1,54))/5$ .

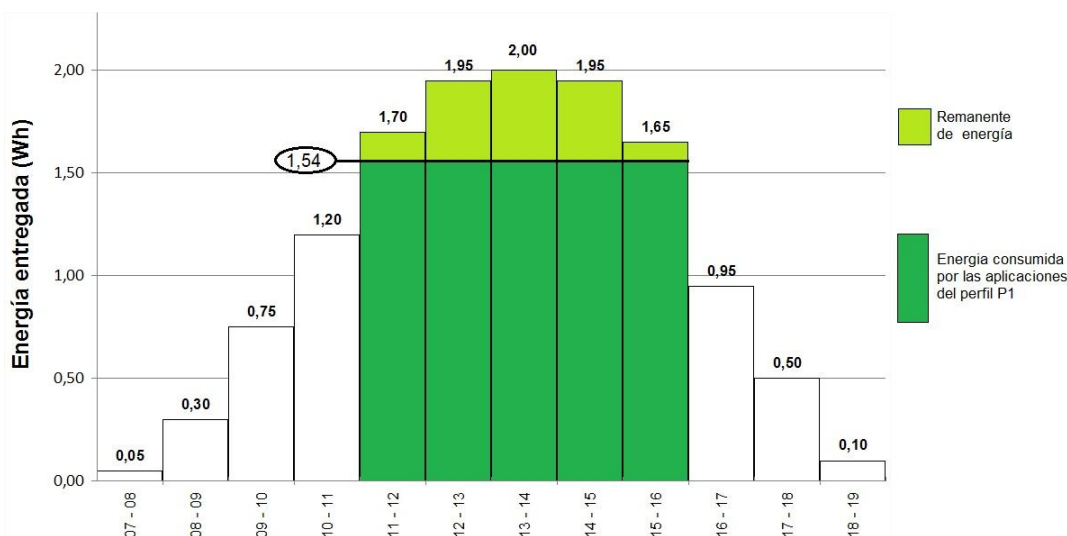


Figura 7 - Energía entregada por el sistema fotovoltaico (sin modificaciones)

Con esta configuración no es posible ejecutar los perfiles 2 y 3, a no ser que se cuente con un remanente de carga en la batería del dispositivo móvil.

Si no se requiere ejecutar aplicaciones, la energía se puede transferir a la batería (2100 mAh), en este caso se necesitan aproximadamente 6 horas (de 10 a 16) para una carga completa de la batería:  $(0,24+0,34+0,39+0,4+0,39+0,33 = 2,1 \text{ A}$ , valores tomados de Tab. 3).

### 3.4 Ensayos realizados con el módulo modificado

En la figura 8 se observa el corte efectuado con un cúter, la que debe atravesar distintas capas de polímeros hasta llegar a la metalización. Se debe tener la precaución de no apoyar la misma sobre la oblea de silicio, pues esta puede dañarse inmediatamente, arruinando el módulo en su totalidad. Al realizar la soldadura debe tenerse especial cuidado en no sobrecalentar la zona, pues el EVA de la parte superior podría oscurecerse.

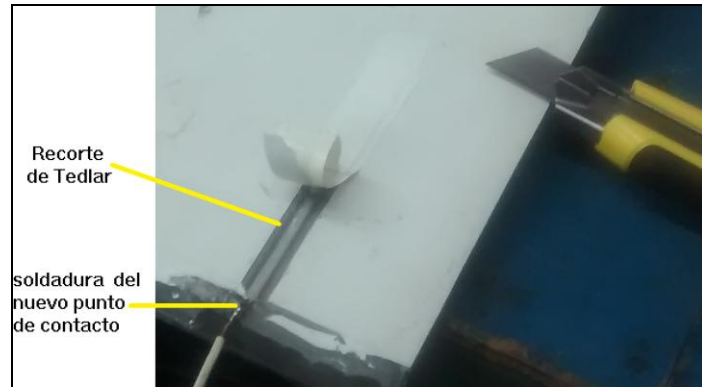


Figura 8 - Cara posterior corte del Tedlar y soldadura

De los ensayos preliminares, se puede inferir que el regulador comercial usado puede operar con voltajes menores de 12 voltios. O sea encontrado el valor mínimo de operación (aproximadamente 8 voltios) se puede encontrar una cantidad mínima de celdas en serie que debe poseer el sistema de carga. Esto puede conseguirse armando un módulo con celdas individuales conectadas, o bien siguiendo un procedimiento como el mencionado. En la Fig. 9 se puede observar la conexión de un conductor auxiliar que permite obtener una configuración con 18 celdas en serie, en paralelo con otras 18 celdas en serie. Esta configuración permite obtener una corriente doble que la original. Hay que tener en cuenta también que el cargador debe ser capaz de proporcionar la corriente de esta nueva configuración del módulo, caso contrario el trabajo realizado resulta improductivo. Las celdas ensayadas permiten una corriente apropiada. En la misma figura, se observa también otro punto de conexión ensayado.



Figura 9 - Nuevos puntos de conexión del módulo

En la Tab. 4 se presenta el resumen de las mediciones realizadas con el panel modificado. Para cada hora del día se indica el promedio de las siguientes magnitudes: Radiación solar, corriente y voltaje; asimismo la potencia entregada al celular.

Tabla 4 – Mediciones realizadas utilizando el panel modificado

FRANJA HORARIA	RADIACIÓN SOLAR (W/m <sup>2</sup> )	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	POTENCIA ENTREGADA AL CELULAR (W)
07 - 08	50	0,015	6,9	0,075
08 - 09	100	0,14	6,1	0,7
09 - 10	300	0,31	8,01	1,55
10 - 11	450	0,51	8,29	2,55
11 - 12	600	0,71	8,43	3,55
12 - 13	676	0,78	8,47	3,9
13 - 14	706	0,84	8,5	4,2
14 - 15	674	0,81	8,495	4,05
15 - 16	574	0,69	8,41	3,45
16 - 17	369	0,42	8,36	2,1
17 - 18	191	0,25	7,9	1,25
18 - 19	30	0,062	6,5	0,31

Se observa que el empleo de 2 módulos en paralelo con 18 celdas en serie, posibilita la ejecución de los 3 perfiles de aplicaciones utilizados para el experimento, y también realizar una carga completa de batería (2100 mAh), en aproximadamente 3 horas (de 10 a 13, de Tab 4).

En la Fig. 10 se representa mediante un histograma la energía entregada al celular en la franja horaria 7 a 19, se ilustra que el perfil de mayor consumo energético (P2 - 3161 mWh) puede ser ejecutado durante 5 horas (de 11 a 16), con un remanente promedio igual a 0,345 Wh que se calculó de la siguiente manera  $((3,55-3,16)+(3,90-3,16)+(4,2-3,16)+(4,05-3,16)+(3,45-3,16))/5$ .



Figura 10 - Energía entregada por el sistema fotovoltaico (sin modificaciones)

#### 4. CONCLUSIONES

La energía solar fotovoltaica constituye una alternativa viable para el uso de dispositivos móviles en zonas rurales aisladas, los pobladores o visitantes de estas zonas no tendrán necesidad de desplazarse a centros urbanos para recargar sus equipos.

La propuesta no requiere del uso de baterías externas, el sistema fotovoltaico se conecta en forma directa al celular, de esta forma se evita la contaminación producida por las baterías y se eliminan tareas de mantenimiento que son costosas y difíciles de realizar en zonas aisladas.

En la región andina del NOA, cercana a Salta, se encuentran localidades con niveles elevados de radiación solar, en estas zonas será posible incrementar el número de aplicaciones y el tiempo de autonomía.

Es posible definir perfiles de aplicaciones móviles según los requerimientos informáticos de los pobladores de la zona rural, por ejemplo: Los alumnos de escuela primaria ejecutarán un perfil básico que tenga un número reducido de aplicaciones, mientras que el maestro tendrá asignado un perfil avanzado. Este análisis es válido también para usuarios visitantes, por ejemplo: Un turista podrá usar el celular para tomar fotografías de la zona, mientras que otro requerirá tomar fotografías de la zona y conectarse a Internet para enviarlas por correo electrónico.

Conocer el tiempo de carga o reposición de déficit energético puede ser importante para usuarios con limitaciones de tiempo (Ej.: viajeros) y también cuando sea necesario el uso en horarios de baja radiación solar.

La modificación del panel fotovoltaico optimiza la potencia entregada al celular y posibilita la ejecución de perfiles de aplicaciones que serían descartados con el panel original. Tal como se plantea, y tomando algunos recaudos mínimos se puede modificar prácticamente cualquier módulo fotovoltaico. Esta es una alternativa flexible, pues la

modificación se puede hacer a medida. Tiene la gran ventaja que no es necesario adquirir módulos con una cantidad de celdas fuera de los valores estándar.

Desde una perspectiva social, las principales contribuciones que se esperan de la propuesta son:

- Incremento de las posibilidades de comunicación de los pobladores de la zona rural, permitiendo el acceso a aplicaciones de Internet tales como correo electrónico, mensajería y redes sociales, consiguiendo una disminución de la brecha digital existente entre las poblaciones rurales aisladas y las poblaciones urbanas.
- Mejoras en el aprovechamiento de la tecnología disponible en zonas aisladas, teniendo en cuenta que algunos de los pobladores de estas zonas son propietarios de equipos celulares que utilizan como reproductores de música o cámaras fotográficas y no como dispositivos de comunicación.
- Fomento del turismo rural, brindando servicios de comunicación a zonas aisladas que formen parte de los circuitos turísticos del NOA.

La propuesta presentada tiene posibilidad real y concreta de ser aplicada en otras zonas rurales que tengan características similares.

## REFERENCIAS

- Ottavianelli, Emilce; Ibarra Marcelo; Cadena Carlos. (2013). *Uso de indicadores sociales en estudios de factibilidad de instalación de sistemas solares para generación de electricidad en localidades rurales*. Paper presented at the XX Simposio peruano de Energía solar, Tacna – Perú.
- Qualcomm Technologies. (2013). *When mobile apps use too much power: A Developer Guide for Android App Performance*. Retrieved from <https://developer.qualcomm.com/qfile/27292/trepn-whitepaper-apps-power.pdf>
- Qualcomm Technologies. (2014). *Trepn Profiler*. from <https://developer.qualcomm.com/mobile-development/increase-app-performance/trepn-profiler>
- Rocabado, Sergio; Cadena, Carlos. (2015a). *Cargadores solares portátiles para el uso de dispositivos móviles en zonas rurales aisladas del NOA*. Paper presented at the ASADES 2015.
- Rocabado, Sergio; Cadena, Carlos. (2015b). *Uso de dispositivos móviles inteligentes en zonas rurales aisladas abastecidas con energía solar fotovoltaica*. Paper presented at the CACIC 2015.

## MINI PV SYSTEMS FOR USE OF MOBILE DEVICES IN RURAL AREAS: OPTIMIZATION OF THE POWER DELIVERED AND CONSUMED

**Abstract.** *In this paper, a preliminary study of strategies for use of mobile devices with battery charge based on photovoltaic solar energy is presented. Its use is expected in isolated areas that are outside power distribution centers. Firstly, the amount of energy consumed by a mobile device to run mobile applications used in rural areas is determined. Next, the power that a photovoltaic system with the cells connected in series is able to deliver is measured with radiation solar values and without the use of external batteries, and verify that the PV system is able to meet the energy requirements of the device. Finally different panel configurations were tested, we proceeded to lift the rear layer Tedlar, soldering contacts in different areas. The biggest positive impact is achieved by opening the module on its rear face which enables eighteen cells in series connected in parallel with other eighteen. The results obtained in the experimental work were compared to establish the improvement introduced by the use of a PV module with the last connection. The photovoltaic system optimization increases the rate of battery charging device and enables the execution of a greater number of mobile applications.*

**Key words:** *Photovoltaic Solar Energy, Mobile Devices, Rural Areas.*