

EFICIENCIA ENERGETICA EN DISPOSITIVOS MÓVILES PARA FACILITAR SU USO EN ZONAS RURALES AISLADAS

Sergio Rocabado¹, Ernesto Sanchez¹, Susana Herrera², Carlos Cadena³

(1) *Centro de Investigación y Desarrollo en Informática Aplicada (CIDIA)*
Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta
srocabad@cidia.unsa.edu.ar, esanchez@cidia.unsa.edu.ar

(2) *Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información (IISI)*,
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero
sherrera@unse.edu.ar

(3) *Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO)*,
Universidad Nacional de Salta y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
cadenacinenco@gmail.com

Resumen

Las zonas rurales aisladas del país se caracterizan, entre otros aspectos, por su baja densidad demográfica, población dispersa, cobertura de red celular muy 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.

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

El grupo de trabajo lleva adelante una investigación aplicada que busca reducir el consumo de energía de los dispositivos móviles para facilitar su utilización en zonas rurales aisladas abastecidas con energía solar fotovoltaica, posibilitando el acceso a información digital a pobladores de estas zonas sin necesidad de que tengan que trasladarse a centros urbanos.

La propuesta resultante tiene posibilidad real y concreta de ser replicada en otras zonas rurales del país que tengan características similares.

Palabras clave: Dispositivos móviles, redes móviles, consumo de energía, zonas rurales aisladas, energía solar fotovoltaica.

1 Contexto

El presente trabajo se lleva a cabo en el marco del proyecto de investigación N° 2268/0 “Despliegue seguro de MANETs en zonas rurales de recursos energéticos limitados” en colaboración con el proyecto de investigación “Energías solar fotovoltaica y eólica: desarrollo y transferencia de equipos a pobladores de zonas rurales de la Provincia de Salta, y su impacto en la calidad de vida”, ambos financiados por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta.

El equipo de investigación se encuentra conformado por investigadores de diferentes institutos del NOA: Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información (IISI) de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNSE, Instituto de investigaciones en energía no convencional (INENCO) y Centro de Investigación y Desarrollo en Informática Aplicada (CIDIA) de la UNSa. Además, se cuenta con la colaboración y asesoramiento del Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas (LINTI) de la UNLP, por intermedio del Lic. Javier Díaz, director de tesis de doctorado de uno de los integrantes del proyecto.

2 Introducción

El recurso energético natural de la región del NOA (Noroeste Argentino) es la energía solar. La aridez del clima y la latitud tropical hacen que se cuente con una alta radiación solar la mayoría de los días del año. Éste es un recurso limpio y renovable que puede ser aprovechado en poblaciones rurales aisladas del NOA que se encuentran fuera del alcance de los centros de distribución de energía [1].

Si bien los sistemas fotovoltaicos actualmente son utilizados en muchas zonas aisladas, generalmente en comunidades rurales donde tuvo intervención el PERMER [2]; el aprovechamiento de la energía solar

para la carga de dispositivos móviles no está lo suficientemente difundida. En el desarrollo de este trabajo se introduce la aplicación de esta tecnología, contribuyendo a mejorar las posibilidades de comunicación de los pobladores de la región.

El trabajo se encuentra dividido en 4 etapas: 1) Determinar los requerimientos de energía de un celular para ejecutar tareas utilizadas en zonas rurales, 2) Verificar que el sistema fotovoltaico se ajuste a los requerimientos energéticos del celular, 3) Comunicar el celular con el sistema fotovoltaico para optimizar la carga en función de los requerimientos del dispositivo y 4) Optimización de la potencia entregada por el sistema fotovoltaico.

Etapla 1: Determinar los requerimientos de energía de un celular para ejecutar tareas utilizadas en zonas rurales.

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

1. Seleccionar tareas de uso frecuente en zonas rurales del NOA, 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, algunos ejemplos: 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, el consumo se mide utilizando alguno de los siguientes mecanismos: a) Sistemas que miden la corriente eléctrica que circula hacia el dispositivo, utilizando hardware externo (multímetro y batería abierta) y software para automatizar las mediciones [3], b) Estimaciones utilizando un modelo de potencia [4], c) Conexiones a nivel circuito [5] y d) Sensores internos del dispositivo [6].
4. Seleccionar la aplicación que consuma menor energía para ejecutar la tarea asignada (eficiencia energética).
5. Agrupar las tareas en perfiles, con base en 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 energía de las aplicaciones elegidas para ejecutar las tareas del perfil.

El requerimiento de energía del celular dependerá del perfil utilizado en la zona rural.

Etapla 2: Verificar que el sistema fotovoltaico se ajuste a los requerimientos energéticos del celular

Se calcula la energía que el sistema fotovoltaico es capaz de entregar al dispositivo móvil, en función de: factores climáticos de la zona de despliegue (radiación solar y

temperatura), características técnicas del panel 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 ilustran tres situaciones que pueden ocurrir con frecuencia:

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.

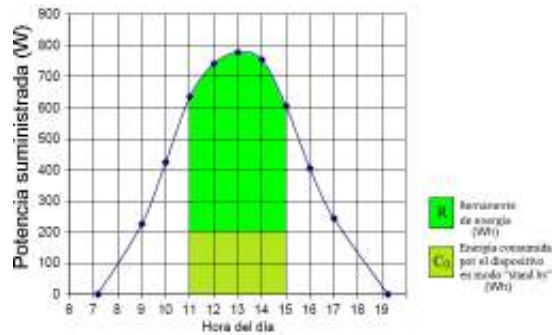


Figura 1 - Celular sin ejecutar aplicaciones, modo “stand by”

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.

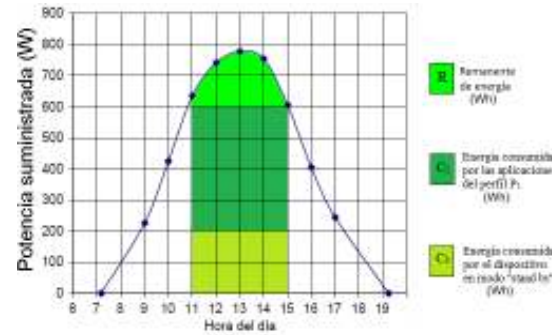


Figura 2 - Celular ejecutando aplicaciones sin déficit de energía

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”.

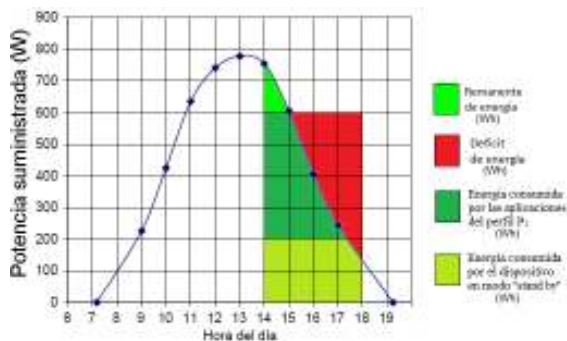


Figura 3 - Celular ejecutando aplicaciones con déficit de energía

Etapa 3: Comunicación entre el dispositivo móvil y el sistema fotovoltaico.

En esta etapa se tiene previsto agregar al cargador portátil una placa Arduino UNO [7] y sensores para medir la radiación actual y la temperatura de los módulos fotovoltaicos, los valores de radiación y temperatura serán recolectados periódicamente por la placa Arduino y almacenados en una memoria flash.

Cuando el dispositivo móvil se encuentre en zona rural aislada y requiera energía para ejecutar aplicaciones, se comunicará con el modulo Arduino del panel solar a través de la interfaz de radio Bluetooth [8] y solicitará información de la capacidad del sistema fotovoltaico.

La placa Arduino, en función de parámetros climáticos actuales e información histórica acumulada en la memoria flash, estimará la cantidad de energía que el cargador solar puede suministrar en las siguientes horas del día y enviará este valor al celular.

La información entregada al celular permitirá determinar:

- El tiempo de carga en modo "stand by".
- El tiempo de carga de la batería cuando se ejecuta un perfil de aplicaciones con remanente de energía.
- Los perfiles de aplicaciones "sin" déficit de energía que se pueden ejecutar y por cuanto tiempo.
- Los perfiles de aplicaciones "con" déficit de energía que se pueden ejecutar utilizando la carga almacenada en la batería del celular y durante cuanto tiempo.
- El tiempo que se requiere para reponer la energía en la batería del dispositivo, cuando se ejecuta un perfil que genera déficit de energía.

Además, se pueden activar mecanismos de ahorro de energía en el celular cuando el cargador se encuentre en situaciones desfavorables para la adquisición de energía.

Etapa 4: Optimización de la potencia entregada por el sistema fotovoltaico

El voltaje que suministra 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. Se propone la modificación del sistema 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 la potencia entregada al celular a la salida del regulador (acelerando la carga).

Para ilustrar esto, en la Fig. 4 se presentan dos sistemas fotovoltaicos de 4 celdas, donde cada celda es capaz de suministrar 5 V y 1 A. La carga de una batería estándar de celular (3,7 V) se optimiza utilizando la configuración en paralelo, ya que entrega un voltaje ligeramente superior al requerido (5V) y un valor elevado para la corriente (4A).

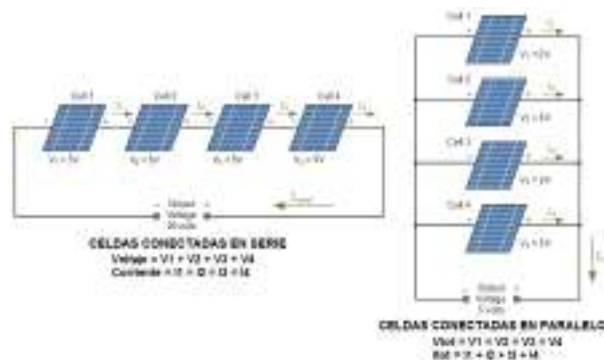


Figura 4 - Configuración de celdas fotovoltaicas en serie y paralelo

3 Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación

Las principales líneas de investigación de esta propuesta son:

- Computación móvil. Dispositivos móviles. Arquitectura y Sistemas Operativos.
- Despliegue de redes móviles en zonas aisladas.
- Eficiencia energética en dispositivos móviles. Técnicas para administrar y conservar energía.
- Modelos de consumo de energía para dispositivos móviles.
- Mecanismos para medir el consumo detallado de energía (Fine-Grained) en dispositivos móviles. Medición por software. Medición utilizando hardware externo.
- Baterías para dispositivos móviles. Proceso de carga. Tiempo de carga. Duración. Cargadores.
- Energía solar fotovoltaica.
- Sistemas de adquisición de energía solar fotovoltaica.
- Cargadores fotovoltaicos portátiles para dispositivos móviles.

4 Objetivos y Resultados

En este trabajo se estudia una solución tecnológica como alternativa para satisfacer una necesidad social, por esta razón los objetivos generales de esta investigación se plantean desde dos perspectivas diferentes, una tecnológica y otra social.

Objetivo Tecnológico:

- Realizar una contribución para el uso de dispositivos móviles en zonas remotas con recursos energéticos limitados.

Objetivo social:

- Posibilitar el acceso a la información y al conocimiento a pobladores de zonas rurales aisladas que se encuentran fuera del alcance de los centros de distribución de energía.

Para ello, se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar estrategias para el despliegue de redes móviles en zonas remotas, haciendo uso de energía solar fotovoltaica para la recarga de dispositivos móviles y de comunicación.
- Promover el uso de dispositivos móviles y de comunicación en comunidades rurales aisladas abastecidas con energía solar fotovoltaica.
- Elaborar una propuesta para reducir el consumo energético en dispositivos móviles sin afectar su rendimiento y confiabilidad.
- Construir un modelo de consumo energía que permita determinar en forma detallada (Fine-grained) la potencia utilizada por los componentes de hardware y software de un dispositivo móvil.

A partir de la investigación realizada surgirá una propuesta para la utilización de dispositivos y redes móviles en zonas rurales aisladas, en la misma se describirán técnicas y recomendaciones para reducir el consumo de energía de un dispositivo móvil y estrategias para recargar las baterías utilizando energía solar fotovoltaica.

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

- Disminución de la brecha digital existente entre las poblaciones rurales aisladas y las poblaciones urbanas.
- Reducción de la migración de los pobladores de zonas rurales aisladas a zonas urbanas.
- Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica para la recarga de baterías de dispositivos portátiles en zonas aisladas. Los pobladores o visitantes de estas zonas no tendrán necesidad de desplazarse a centros urbanos para recargar sus equipos.
- 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.

- 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.
- Mejoras en el proceso de enseñanza aprendizaje en comunidades escolares rurales aisladas, mediante la implementación de estrategias educativas de m-learning.
- Fomento del turismo rural, brindando servicios de comunicación a zonas aisladas que formen parte de los circuitos turísticos del NOA.

Los resultados obtenidos por el grupo de investigación fueron publicados en [9] [10] [11] [12].

5 Formación de recursos humanos

La propuesta involucra la integración de los conocimientos en esta área por parte de investigadores de la Universidad Nacional de Salta (UNSa) y de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). El año 2015 se presentó una tesis de postgrado en el Magister en Redes de la UNLP [12]. Uno de los investigadores se encuentra realizando el doctorado en Ciencias Informáticas de la UNLP, el trabajo de investigación de la propuesta de tesis [13] se encuentra directamente relacionado con este proyecto.

El proyecto cuenta con la participación de estudiantes avanzados de carreras de grado en Informática, pertenecientes a la UNSa y a la UNSE, los cuales reciben formación en las áreas de computación móvil y energía solar; además, experiencia en el desarrollo de investigaciones. Dos alumnos están finalizando la tesis de grado de la Licenciatura en Sistemas de Información de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la UNSE, y otro se encuentra desarrollando el seminario de sistemas de la Licenciatura en Análisis de Sistemas de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNSa.

Referencias

1. 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.
2. Secretaria de Energia - Ministerio de Planificación. (2015). PERMER, Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales. from <https://www.se.gob.ar/permer/>
3. Thiagarajany, Narendran; Aggarwal, Gaurav; Nicoara, Angela (2012). *Who Killed My Battery*:

- Analyzing Mobile Browser Energy Consumption*. Paper presented at the WWW 2012 – Session: Mobile Web Performance, Lyon, France.
4. ZHANG, Lide; TIWANA, Birjodh; QIAN, Zhiyun and WANG, Zhaoguang. (2010). *Accurate online power estimation and automatic battery behavior based power model generation for smartphones*. Paper presented at the 2010 IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis (CODES+ISSS), Scottsdale, AZ. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5751489>
 5. Carroll, Aaron; Heiser, Gernot (2013). *The systems hacker's guide to the galaxy energy usage in a modern smartphone*. Paper presented at the 4th Asia-Pacific Workshop on Systems (APSys '13).
 6. Metri, Grace; Shi, Weisong; Brockmeyer Monica (2015). *EnergyEfficiency Comparison of Mobile Platforms and Applications: A Quantitative Approach*. Paper presented at the HotMobile Santa Fe, NM, USA.
 7. ARDUINO UNO Board. (2015). from <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
 8. Nupur K. Sonawane. (2014). Bluetooth Based Device Automation System Using Cellphone. *International Journal of Computer Applications & Information Technology, Vol. 7 Issue 1*.
 9. Rocabado, Sergio; Cadena, Carlos. (2015). *Despliegue de MANETs en zonas rurales aisladas*. Paper presented at the WICC 2015.
 10. Rocabado, Sergio; Cadena, Carlos. (2015). *Uso de dispositivos móviles inteligentes en zonas rurales aisladas abastecidas con energía solar fotovoltaica*. Paper presented at the CACIC 2015.
 11. Rocabado, Sergio; Cadena, Carlos. (2015). *Cargadores solares portátiles para el uso de dispositivos móviles en zonas rurales aisladas del NOA*. Paper presented at the ASADES 2015.
 12. Rocabado, Sergio; Cadena, Carlos. (2016). *Mini sistemas fotovoltaicos para el uso de dispositivos móviles en zonas rurales: Optimización de la potencia entregada y consumida*. Paper presented at the Congreso Brasileiro de Energía Solar - CBENS 2016.
 13. Rocabado, Sergio. (2015 - 2017). *Optimización del consumo energético en dispositivos móviles para su uso en zonas rurales aisladas abastecidas con energía solar fotovoltaica*. Doctorado en Ciencias Informáticas. UNLP.
 14. Tarkoma, Sasu; Siekkinen, Matti; Lagerspetz, Eemil; Xiao, Yu (2014). *Smartphone Energy Consumption: Modeling and Optimization* (First ed., pp. 234). University Printing House, Cambridge CB2 8BS, United Kingdom: Cambridge University Press. E-book ISBN: 9781139990417.
 15. Attia, Y. I. Al-Mashhadany; H. A. (2014). Novel Design and Implementation of Portable Charger through Low-Power PV Energy System. *Advanced Materials Research, 925*, pp. 495-499 (ISSN 1662-8985).
 16. Attia, Yousif I. Al-Mashhadany; Hussain A. (2014, November 12). *High performance for real portable charger through lowpower PV system*. Paper presented at the International Journal of Sustainable and Green Energy.
 17. Qualcomm Technologies. (2014). Trepp Profiler. from <https://developer.qualcomm.com/mobile-development/increase-app-performance/trepp-profiler>
 18. Zhang, Lide. (2013). *Power, Performance Modeling and Optimization for Mobile System and Applications*. (Thesis - Doctor of Computer Science and Engineering), University of Michigan.
 19. Yevgen, Barsukov; Jinrong, Qian. (2013). *Battery Power Management for Portable Devices* (First ed., pp. 268). Norwood, MA 02062 USA: Artech House. E-book ISBN: 978-1-60807-491-4.
 20. Schuss, C; Rahkonen, T. (2013, 11-15 Nov.). *Solar Energy Harvesting Strategies for Portable Devices such as Mobile Phones*. Paper presented at the 2013 14th Conference of Open Innovations Association (FRUCT) - IEEE, Espoo.
 21. Michael, Boxwell. (2015). *Solar Electricity Handbook : A simple, practical guide to solar energy - designing and installing solar PV systems* (2015 ed., pp. 204). Greenstream Publishing. E-book ISBN: 978-1907670459.
 22. Távora, Filipe; Maia, Andrea Sarmiento. (2012). *Solar Battery charger for portable devices application*. SiliconReef Consultoria, Pesquisa e Projetos em Tecnologia da Informação. Retrieved from www.siliconreef.com.br
 23. Carroll, Aaron; Heiser, Gernot (2010). *An Analysis of Power Consumption in a Smartphone*. Paper presented at the USENIX Annual Technical Conference, Boston, MA, USA.
 24. Salgado Fernandez, Jose (2010). *Compendio de energia solar. Fotovoltaica Termica Termoelectrica*. A. Madrid Vicente - Mundi Prensa. E-book ISBN: 9788484764007.