

CARGADORES SOLARES PORTATILES PARA EL USO DE DISPOSITIVOS MOVILES EN ZONAS RURALES AISLADAS DEL NOA

Sergio Rocabado¹, Javier Díaz², Carlos Cadena³

¹C.I.U.N.Sa. – Consejo de Investigación Universidad Nacional de Salta (UNSa)

²L.IN.T.I. – Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas (UNLP)

³INENCO – Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (UNSa - CONICET)

Tel. 0387-4255408 e-mail: ¹srocabad@cidia.unsa.edu.ar, ²jdiaz@unlp.edu.ar,

³cadenacinenco@gmail.com

RESUMEN: En este trabajo se presenta una contribución para el uso de dispositivos móviles, con recarga de acumulador basada en energía solar fotovoltaica, en zonas aisladas que se encuentren fuera del alcance de los centros de distribución de energía. En primer lugar, se determinó la potencia utilizada por aplicaciones móviles para ejecutar tareas de uso frecuente en zonas rurales. Luego, en función de valores de radiación solar de referencia y sin recurrir a baterías externas, se calculó la energía que un pico sistema fotovoltaico le puede entregar a un dispositivo móvil. Finalmente, se agruparon las aplicaciones en perfiles y se verificó que el sistema fotovoltaico sea capaz de satisfacer los requerimientos de energía de cada perfil. La propuesta posibilitará por una parte, optimizar el consumo del dispositivo, y por otra la construcción de un cargador solar de tamaño y peso reducido que se ajuste a los requerimientos energéticos del perfil de aplicaciones utilizadas en una zona rural.

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

INTRODUCCION

Las zonas rurales aisladas del país 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.

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 parciales de una investigación que busca reducir el consumo de energía de los dispositivos móviles para facilitar su utilización en zonas rurales aisladas, posibilitando el acceso a la información digital a pobladores de estas zonas sin necesidad de que tengan que trasladarse a centros urbanos. La propuesta busca solucionar las siguientes carencias de las poblaciones rurales aisladas: 1) Imposibilidad de acceso a información digital utilizando dispositivos móviles seguros y 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.

Consumo de energía en dispositivos móviles

En los últimos años se produjo una importante evolución en los dispositivos móviles en general y en particular en los teléfonos celulares, los nuevos equipos llevan integrados una gran variedad de componentes como CPU, memoria, cámara, acelerómetro, pantalla LCD, GPS, micrófono, altavoces, interfases de comunicación 2G/3G/4G, Wi-Fi, Bluetooth, etc. Estos nuevos celulares se denominan teléfonos inteligentes o *smartphones*, y brindan a sus usuarios funcionalidades avanzadas, entre otras: navegar por Internet, acceso a correo electrónico, mensajería instantánea, reproducción de audio y video, tomar fotografías, filmar videos y utilizar aplicaciones de posicionamiento satelital.

La velocidad a la que ha evolucionado la capacidad de las baterías no ha sido la misma a la que han evolucionado los teléfonos móviles. La gran mayoría de los *smartphones* utiliza baterías recargables electroquímicas, normalmente de iones de litio (Li-ion) o de polímeros de litio (Li-po). El problema de

estas baterías es su corta duración cuando se utiliza el dispositivo móvil de forma continua por muchas horas, y en especial cuando se mantienen conexiones a Internet a través de la interfaz de radio (2G/3G/4G). Este inconveniente ha planteado que los propios fabricantes tengan que diseñar el hardware y el software de los dispositivos con premisas de eficiencia energética para reducir los niveles de energía consumidos por estos equipos. No obstante, si un dispositivo será utilizado en zonas donde las posibilidades de recarga son limitadas (Ej: Zonas rurales aisladas) será necesario implementar mecanismos que permitan administrar y optimizar el uso de la energía disponible.

Para realizar una administración eficiente de energía se requiere tener un conocimiento previo sobre dónde y cómo se consume la energía. Determinar qué componentes del dispositivo hacen que las baterías se descarguen rápidamente puede ayudar a desarrollar técnicas para reducir el consumo de energía. Sin embargo, obtener el consumo de cada uno de los componentes de un dispositivo móvil no es una tarea fácil de realizar.

Se llevaron a cabo estudios que centran su problemática en analizar el consumo de energía de un dispositivo móvil y proponen modelos matemáticos para estimar este consumo utilizando herramientas de software y/o hardware para medir el consumo de energía de los distintos componentes de hardware.

En (L. T. ZHANG, Birjodh; QIAN, Zhiyun and WANG, Zhaoguang, 2010) se presenta un modelo de energía para estimar el consumo de energía de las aplicaciones y de los diferentes componentes de hardware del dispositivo móvil, utilizando el modelo propuesto se introduce Powertutor, una aplicación Android que posibilita a desarrolladores y/o usuarios de sistemas Android monitorear el consumo de energía detallado en tiempo real y por aplicación de los siguientes componentes: CPU, LCD, WiFi, Bluetooth, red celular (2G y 3G).

En (L. Zhang, 2013) se estudia un escenario real de uso de Smartphone, utilizando la aplicación Powertutor para realizar las mediciones de consumo energético. Con base en los resultados se propone un Framework para modelar y optimizar el consumo de energía de aplicaciones en dispositivos móviles.

En (Thiagarajany, 2012) se presenta una infraestructura para medir (con elevada precisión) la energía que precisa un dispositivo móvil para exhibir páginas web. Con los resultados obtenidos en las mediciones se efectúan recomendaciones concretas para diseñar páginas web minimizando la energía necesaria para mostrar los contenidos. Las mediciones se realizaron utilizando un sistema que mide directamente la corriente eléctrica que circula hacia el dispositivo, utilizando una combinación de hardware externo (multímetro y batería abierta) y software para automatizar las mediciones (Figura 1).

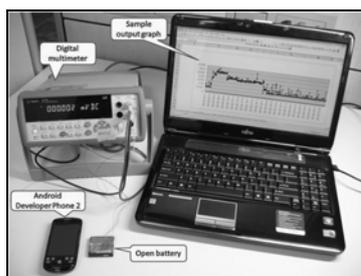


Figura 1: Sistema de medición de alta precisión.

En (Aaron, 2013) se efectúa un análisis detallado del consumo de energía de un Smartphone Samsung Galaxy SIII, las mediciones de potencia se realizaron utilizando un multímetro digital y conexiones a nivel circuito (Figura 2). Se ejecutaron una serie de pruebas de uso cotidiano de un celular, que incluyen: Reproducción de audio y video, juegos, llamadas telefónicas, SMS, envío de correo electrónico, navegación WEB, toma de fotografías y celular inactivo. Para cada prueba se midió el consumo de energía de los principales componente del Smartphone: CPU, RAM, pantalla, GPU, interfaces inalámbricas, cámara, GPS y sensores ambientales.

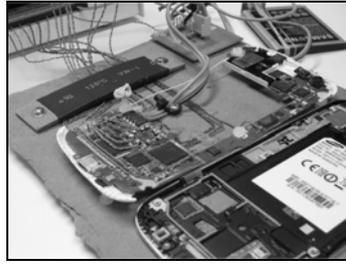


Figura 2: Medición del consumo energético a nivel circuito.

En (Metri, 2015) se presenta un estudio comparativo de la eficiencia energética en dispositivos y aplicaciones móviles, se utilizó el programa Trepp profiler (Qualcomm Technologies, 2014) para medir el rendimiento y el consumo de energía de aplicaciones Android en dispositivos con procesadores Snapdragon desarrollados por la empresa Qualcomm. Trepp Profiler posibilita el acceso a la siguiente información: Porcentaje y frecuencia de uso de la CPU, consumo de energía, estadísticas de consumo de memoria física y virtual y utilización de la red celular y Wi-Fi. El consumo de energía se mide a través de sensores (sensor-based) incorporados en los procesadores Snapdragon, esto permite realizar mediciones con mayor precisión. Los sensores internos miden el consumo de energía en cada núcleo del procesador y a partir de estos valores obtienen el consumo total de energía (Figura 3).

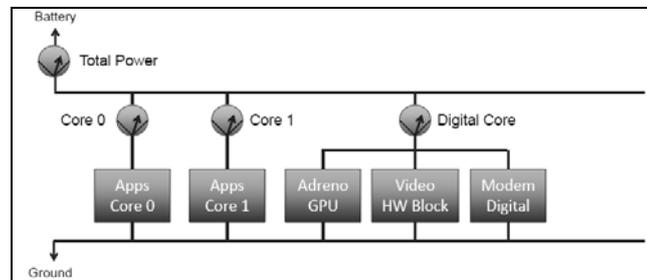


Figura 3: Sensores incorporados en los procesadores Snapdragon.

También se efectuaron estudios desde el punto de vista del comportamiento humano, en (Ferreira, 2011) se presenta una investigación para determinar la forma en la que las personas cargan sus dispositivos móviles (patrones de carga), y además se realiza una discusión de las implicancias de la conducta del usuario en la duración de la batería y el uso de la energía.

Energía solar fotovoltaica en zonas rurales

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 (Ottavianelli, 2013-11).

La tecnología fotovoltaica actualmente ya es competitiva para proveer de energía eléctrica a lugares alejados del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Entre muchas de sus ventajas pueden mencionarse las siguientes:

- Se evita el costoso tendido y mantenimiento de las líneas eléctricas en zonas de difícil acceso.
- Contribuyen a evitar la emigración de pobladores de zonas aisladas.
- Es una energía descentralizada que puede ser captada y utilizada en cualquier lugar donde se localice la demanda.
- Una vez instalada tiene un costo energético nulo.
- Posee bajo costo de mantenimiento y riesgo de fallas muy bajo.
- Las instalaciones son modulares, se puede aumentar o reducir la potencia instalada fácilmente según las necesidades.

Si bien los sistemas fotovoltaicos actualmente son utilizados en muchas zonas aisladas, generalmente en comunidades rurales donde tuvo intervención el PERMER (Proyecto de Energías Renovables en

Mercados Rurales); el aprovechamiento de la energía solar para la carga de dispositivos móviles no está lo suficientemente difundido. En este trabajo se introduce la aplicación de esta tecnología, contribuyendo a mejorar las posibilidades de comunicación de los pobladores de la región.

Cargadores solares para dispositivos móviles

En (Attia, 2014) se presenta el diseño de un cargador solar portátil para dispositivos móviles de bajo consumo energético, en el diseño se especifica el uso de un número reducido de componentes, lo que hace que el cargador sea económicamente viable además de ser altamente portátil.

En (Távora, 2012) se efectúa una revisión de las diferentes técnicas de adquisición de energía solar para alimentar dispositivos portátiles en forma limpia y sustentable. Se realiza un estudio para mejorar el rendimiento de una celda solar, mostrando algunos experimentos prácticos realizados en América del Sur. Además, se analizan algunas implementaciones de cargadores solares para dispositivos portátiles, mostrando los beneficios e inconvenientes de cada arquitectura. Finalmente, se propone una solución completa e integrada para el uso de energía solar fotovoltaica en la recarga de baterías de dispositivos portátiles.

En (Schuss, 2013) se presentan estrategias de adquisición de energía solar para la recarga de teléfonos celulares. Se establecen guías de diseño y construcción de cargadores solares que interactúan con el dispositivo móvil, posibilitando la optimización de la carga en función de los requerimientos de energía del dispositivo y la activación de mecanismos de ahorro de energía en el dispositivo cuando el cargador se encuentre en condiciones desfavorables para la adquisición de energía (Ej: Baja radiación solar).

DESCRIPCIÓN

El trabajo se encuentra dividido en 3 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 y 3) Comunicar el celular con el sistema fotovoltaico para optimizar la carga en función de los requerimientos del dispositivo.

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

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. En la selección de tareas se deben considerar las limitaciones tecnológicas de la zona (Ej.: Cobertura de red celular limitada, 2G en lugar de 3G)
2. Asignar aplicaciones móviles para ejecutar las tareas, en la tabla 1 se mencionan ejemplos de tareas y aplicaciones.

TAREA	APLICACIONES
Navegación Web	Google Chrome, Mozilla firefox, Opera Mini
Envío de SMS	Google hangout, Handcent SMS
Acceso a correo electrónico	Google mail, Microsoft outlook
Mensajería instantánea	Whatsapp, Facebook Messenger, Google Hangout
Geo-Posicionamiento	GPS status, GPS Essentials, GPS test
GPS Tracking	Geo tracker, GPS hiking, My track
Navegación GPS	Google maps, GPS navigation & Maps
Toma de fotografías	Google camera, Retrica, Wondershare Powercam, Instagram
Filmación de videos	Cinema FV-5, Wondershare Powercam, Instagram
Reproducción de audio y video	MX player, VLC player, KMPlayer
Descarga utilizando un administrador de descargas	Advanced download manager, Google chrome downloader, Turbo download

Tabla 1: Tareas de uso frecuente en zona rural y aplicaciones para ejecutarlas.

3. Determinar el consumo energético de las aplicaciones para realizar la tarea asignada dentro de ciertos parámetros de rendimiento (Ej: Latencia y Throughput). En el apartado de introducción se presentan diferentes mecanismos de medición.

4. Establecer el consumo energético de las tareas. Para cada tarea se selecciona la aplicación que consuma menos energía para ejecutarla (eficiencia energética).
5. Definir perfiles que agrupen tareas 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.
7. Obtener el requerimiento de energía del celular, que será igual al del perfil que mayor energía consuma. En la tabla 2 se presenta un ejemplo para 6 tareas.

Seleccionar tareas	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$		
Asignar aplicaciones para ejecutar las tareas.	$T_1 - \text{App}_1, \text{App}_2, \text{App}_3$ $T_2 - \text{App}_4, \text{App}_5, \text{App}_6$ $T_3 - \text{App}_7, \text{App}_8$ $T_4 - \text{App}_9$ $T_5 - \text{App}_{10}, \text{App}_{11}$ $T_6 - \text{App}_{12}, \text{App}_{13}, \text{App}_{14}, \text{App}_{15}$		
Determinar el consumo energético de las aplicaciones	$c_1=c(\text{App}_1), c_2=c(\text{App}_2), c_3=c(\text{App}_3), c_4=c(\text{App}_4), c_5=c(\text{App}_5)$ $c_6=c(\text{App}_6), c_7=c(\text{App}_7), c_8=c(\text{App}_8), c_9=c(\text{App}_9), c_{10}=c(\text{App}_{10})$ $c_{11}=c(\text{App}_{11}), c_{12}=c(\text{App}_{12}), c_{13}=c(\text{App}_{13}), c_{14}=c(\text{App}_{14}), c_{15}=c(\text{App}_{15})$		
Establecer el consumo energético de las tareas	$c(T_1) = \min(c_1, c_2, c_3)$ $c(T_2) = \min(c_4, c_5, c_6)$ $c(T_3) = \min(c_7, c_8)$ $c(T_4) = c_9$ $c(T_5) = \min(c_{10}, c_{11})$ $c(T_6) = \min(c_{12}, c_{13}, c_{14}, c_{15})$		
Definir perfiles	$P_1 - (T_1, T_2)$	$P_2 - (T_1, T_3, T_4)$	$P_3 - (T_1, T_5, T_6)$
Determinar el consumo energético de los perfiles	$c(P_1) = c(T_1) + c(T_2)$	$c(P_2) = c(T_1) + c(T_3) + c(T_4)$	$c(P_3) = c(T_1) + c(T_5) + c(T_6)$
Obtener el requerimiento de energía del celular	$\text{Max}(c(P_1), c(P_2), c(P_3))$		

Tabla 2: Ejemplo para 6 tareas y 15 aplicaciones agrupadas en 3 perfiles.

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

Se determina la energía que el sistema fotovoltaico disponible 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 utilizado y un factor de riesgo para condiciones climáticas desfavorables.

Conociendo la energía que entrega el sistema fotovoltaico, se determinan cuales son los perfiles que se podrán ejecutar cuando el celular se encuentre en la zona rural de estudio.

Si no se dispone de un sistema fotovoltaico, las mediciones realizadas permiten dimensionar un cargador fotovoltaico portátil, sin uso de baterías externas, que se ajuste a los requerimientos de energía del dispositivo móvil.

Ejemplos:

En la figura 4 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.

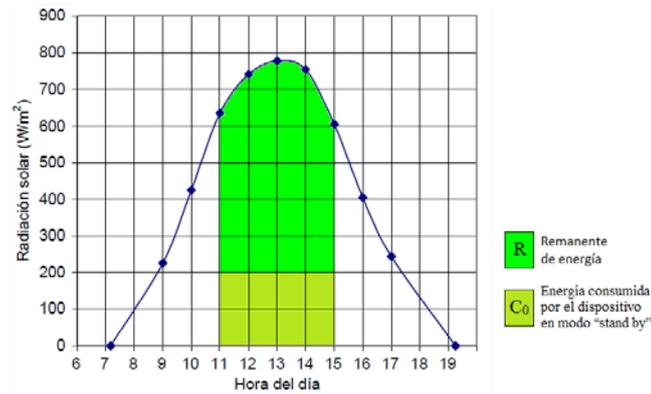


Figura 4: Celular sin ejecutar aplicaciones

En la figura 5 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.

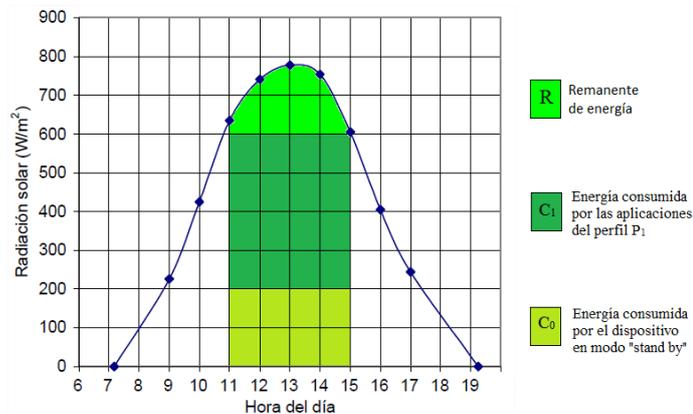


Figura 5: Celular ejecutando aplicaciones sin déficit de energía

En la figura 6 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”.

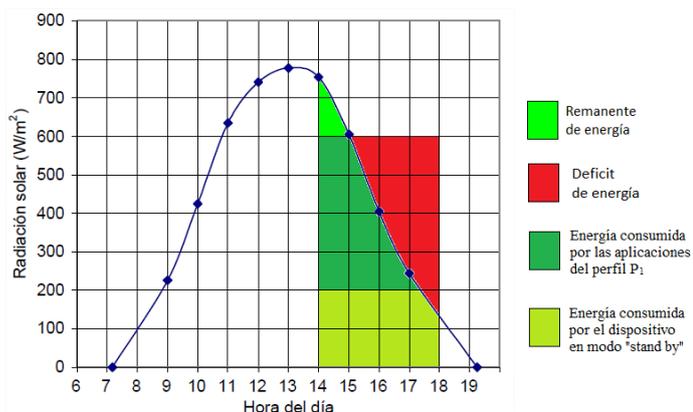


Figura 6: Celular ejecutando aplicaciones con déficit de energía

Etapas 3: Comunicar el celular con el sistema fotovoltaico para optimizar la carga en función de los requerimientos del dispositivo

Se presenta una breve descripción de la etapa 3 ya que la misma no se incorporó en este trabajo, no obstante la idea está relacionada con colocar un convertor 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. Si la opción fuese la de un dispositivo de hasta 0,8 amperes, convendría un regulador como el LM 2940. Esto es desde el punto de vista de la generación fotovoltaica, y teniendo una superficie individual de celdas unos 50 cm² para el primer caso, y de algo más de la mitad para el segundo.

Se tiene previsto agregar al cargador portátil una placa Arduino BT¹ 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 (Nupur K. Sonawane, 2014-10) 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.

MEDICIONES Y RESULTADOS

Etapa1:

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)
Root: SI
Batería: Lítio-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.

A continuación se presentan las tareas seleccionadas y las aplicaciones móviles asignadas a cada tarea:

Tarea	Aplicaciones
T ₁ : Navegación Web	App ₁ : Chrome; App ₂ : Mozilla Firefox
T ₂ : GPS Track	App ₃ : My Track; App ₄ : Geo Track
T ₃ : Mensajería instantánea	App ₅ : Hangouts; App ₆ : Whatsapp

¹ <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

Con estas tareas se definieron los siguientes perfiles:

- Perfil 1 (P_1) – T_1
- Perfil 2 (P_2) – T_1, T_2
- Perfil 3 (P_3) – T_1, T_2, T_3

El consumo de energía en el nodo cliente se midió utilizando la aplicación Trepn Profiler (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 del consumo de una aplicación en particular. Trepn genera un archivo de texto con los resultados de cada medición (“log”), esto posibilita un análisis exhaustivo posterior a la medición.

En la figura 7 se presentan capturas de pantalla de la aplicación Trepn 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).

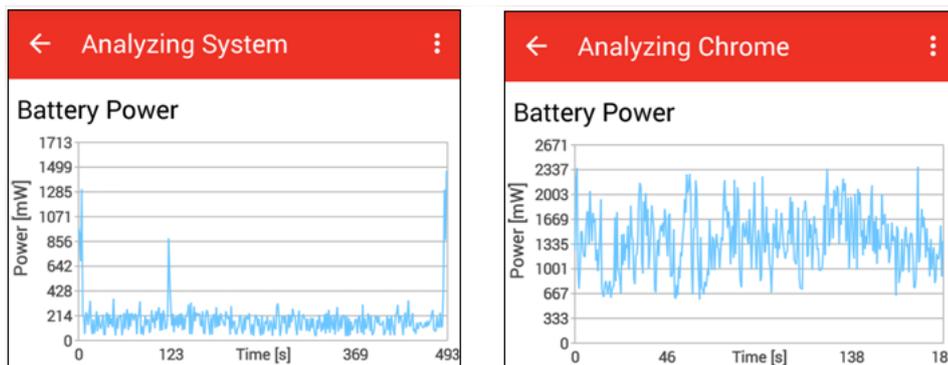


Figura 7: Consumo de energía del celular en reposo y consumo de energía de una aplicación.

Las mediciones se realizaron sobre tecnologías EDGE (disponible en zonas rurales) en la franja horaria 8:00 a 19:00, de esta manera fueron contemplados diferentes niveles de carga de la red celular.

En la tabla 3 se presentan la potencia promedio y el consumo por hora para las aplicaciones asociadas a las tareas seleccionadas:

Tarea	Aplicaciones	Potencia promedio	Energía consumida en una hora
T_1 : Navegación Web	App ₁ : Chrome	1549 mW	1549 mWh
	App ₂ : Mozilla Firefox	1711 mW	1711 mWh
T_2 : Mensajería instantánea	App ₃ : Hangouts	1815 mW	1815 mWh
	App ₄ : Whatsapp	1612 mW	1612 mWh
T_3 : GPS Track	App ₅ : My Track	2350 mW	2350 mWh
	App ₆ : Geo Track	2670 mW	2670 mWh

Tabla 3: Consumo energético de las aplicaciones medido con Trepn Profiler

La energía consumida por las tareas en una hora será:

$$C(T_1) = \min(c(\text{App}_1), c(\text{App}_2)) = 1549 \text{ mWh}$$

$$C(T_2) = \min(c(\text{App}_3), c(\text{App}_4)) = 1612 \text{ mWh}$$

$$C(T_3) = \min(c(\text{App}_5), c(\text{App}_6)) = 2350 \text{ mWh}$$

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

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

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

$$C(P_3) = C(T_1) + C(T_2) + C(T_3) = 1549 \text{ mWh} + 1612 \text{ mWh} + 2350 \text{ mWh} = 5511 \text{ mWh}$$

Etapa 2:

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

Marca y modelo: **Solartec KS10T**
 Área útil aproximada del panel: $0,243 \times 0,318 = 0,07727 \text{ mt}^2$
 Tensión máxima: $17,4\text{V}$
 Corriente máxima: $0,58\text{A}$
 Radiación solar test: $1000 \text{ W} \times \text{mt}^2$
 Potencia nominal: $0,58\text{A} \times 17,4\text{V} = 10\text{W}$

En la tabla 4 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 por el sistema Fotovoltaico.

Franja Horaria	Radiación Solar (W/mt2)	Intensidad de corriente(A)	Voltaje (V)	Potencia (W)
7 - 8	12,42	0,02	15,68	0,26
8 - 9	88,25	0,06	16,26	0,91
9 - 10	285,75	0,15	16,59	2,46
10 - 11	454,33	0,24	16,76	4,04
11 - 12	595,83	0,34	16,87	5,82
12 - 13	676,00	0,39	16,99	6,56
13 - 14	706,00	0,40	17,04	6,84
14 - 15	674,17	0,39	16,99	6,55
15 - 16	573,92	0,33	16,85	5,54
16 - 17	369,08	0,19	16,68	3,11
17 - 18	191,42	0,10	16,49	1,72
18 - 19	24,33	0,02	15,77	0,36

Tabla 4: Potencia entregada por el panel fotovoltaico.

En la figura 8 se representa mediante un histograma la energía entregada por el sistema fotovoltaico en la franja horaria 7 a 19 día 29/07, se observa que el perfil P_3 (que consume $5,51\text{Wh}$) puede ser ejecutado durante 5 horas, con un remanente promedio igual a $0,75\text{Wh}$ que se calculó de la siguiente manera $((5,82-5,51)+(6,56-5,51)+(6,84-5,51)+(6,55-5,51)+(5,54-5,51))/5$.

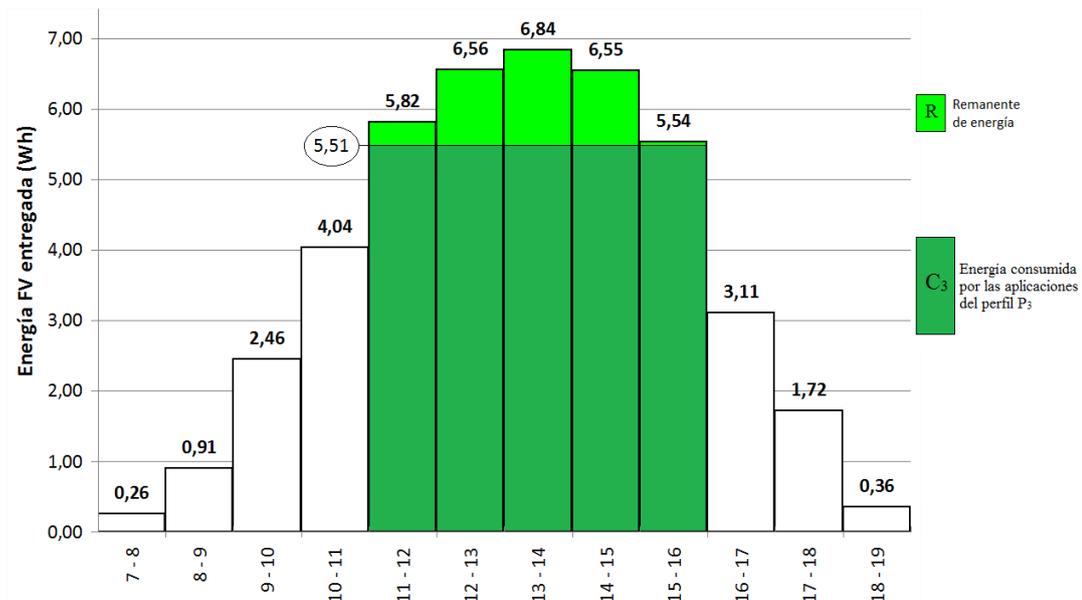


Figura 8: Energía entregada por el sistema fotovoltaico.

En la tabla 5 se presentan las Franjas horarias en las que se puede ejecutar cada perfil y el remanente de energía que entrega el sistema fotovoltaico.

Hora	Potencia entregada	P ₃	Rem.P ₃	P ₂	Rem.P ₂	P ₁	Rem.P ₁
7 - 8	0,26	0,00	0,26	0,00	0,26	0,00	0,26
8 - 9	0,91	0,00	0,91	0,00	0,91	0,00	0,91
9 - 10	2,46	1,54	0,92	0,00	2,46	0,00	2,46
10 - 11	4,04	1,54	2,50	3,61	0,43	0,00	4,04
11 - 12	5,82	1,54	4,28	3,61	2,21	5,51	0,31
12 - 13	6,56	1,54	5,02	3,61	2,95	5,51	1,05
13 - 14	6,84	1,54	5,30	3,61	3,23	5,51	1,33
14 - 15	6,55	1,54	5,01	3,61	2,94	5,51	1,04
15 - 16	5,54	1,54	4,00	3,61	1,93	5,51	0,03
16 - 17	3,11	1,54	1,57	0,00	3,11	0,00	3,11
17 - 18	1,72	1,54	0,18	0,00	1,72	0,00	1,72
18 - 19	0,36	0,00	0,36	0,00	0,36	0,00	0,36

Tabla 5: Franja horaria en la que se puede ejecutar los perfiles.

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.

Se observó también que el empleo de módulos con 36 celdas en serie como el empleado, no es el adecuado, y probablemente será suficiente emplear módulos con 18 serie.

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

REFERENCIAS

- Aaron, Carroll; Gernot, Heiser. (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), Singapore.
- 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).
- Ferreira, Denzil; Dey, Anind; Kostakos, Vassilis. (2011). *Understanding Human-Smartphone Concerns: A Study of Battery Life*. Paper presented at the Pervasive'11 Proceedings of the 9th international conference on Pervasive computing.
- 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.
- Nupur K. Sonawane. (2014-10). Bluetooth Based Device Automation System Using Cellphone. *International Journal of Computer Applications & Information Technology*, Vol. 7 Issue 1.
- Ottavianelli, Emilce; Ibarra Marcelo; Cadena Carlos. (2013-11). *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. (2014). Trepp Profiler. from <https://developer.qualcomm.com/mobile-development/increase-app-performance/trepp-profiler>
- 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.
- Távora, Filipe; Maia, Andrea Sarmento. (2012). *Solar Battery charger for portable devices application*. SiliconReef Consultoria, Pesquisa e Projetos em Tecnologia da Informação. Retrieved from www.siliconreef.com.br
- 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.
- Zhang, Lide. (2013). *Power, Performance Modeling and Optimization for Mobile System and Applications*. (Thesis - Doctor of Computer Science and Engineering), University of Michigan.
- 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>

ABSTRACT

In this paper we present a contribution for the use of mobile devices in remote areas, out of the reach of the grid. Mobile devices are to be charged by solar photovoltaic energy. Firstly, the power used by mobile applications to perform habitual tasks in rural areas is determined. Next, the energy that a photovoltaic system is able to deliver to a mobile device is calculated with radiation solar values and without the use of external batteries. Finally, applications are grouped in profiles and verified that the PV system is able to meet the energy requirements of each profile. The proposal enables the construction of a solar charger small size and light weight that fits the energy requirements of the applications profile used in a rural area.

Keywords: Mobile devices, energy consumption, rural areas, photovoltaic solar energy.