

Uso de dispositivos móviles en zonas rurales aisladas abastecidas con energía solar fotovoltaica

Sergio H. Rocabado Moreno¹, Javier Díaz², Carlos Cadena³

¹C.I.D.I.A. – Centro de Investigación y Desarrollo en Informática Aplicada (UNSa)

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

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

¹srocabad@cidia.unsa.edu.ar, ²jdiaz@unlp.edu.ar, ³cadenacinenco@gmail.com

Resumen. En el presente trabajo se propone el uso de dispositivos móviles, con recarga basada en energía solar fotovoltaica, para acceder a información digital desde zonas rurales que se encuentren fuera del alcance de los centros de distribución de energía. Se realizaron mediciones de la potencia utilizada por un dispositivo móvil ubicado en una zona rural aislada, inicialmente se determinó el consumo de energía del celular sin carga de trabajo (e_0), luego se midió el consumo adicional de energía (e_1) para ejecutar cierto trabajo T_1 en el celular. A continuación, se calculó la energía que puede entregar un sistema fotovoltaico portátil (e_{SF}) en función de las características técnicas del panel y los valores de radiación solar de la zona. Finalmente, se verificó la franja horaria en la que el sistema fotovoltaico es capaz de satisfacer los requerimientos energéticos del dispositivo para ejecutar el trabajo T_1 ($e_{SF} > e_0 + e_1$). La propuesta se puede replicar en zonas rurales con características similares, introduciendo nuevas cargas de trabajo en función de los requerimientos informáticos de los pobladores de la zona.

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

1. Introducción

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.

1.2 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, reproducir 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 [1] se estudia un escenario real de uso de Smartphone, utilizando la aplicación PowerTutor para Android [2] 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 [3] 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 2).

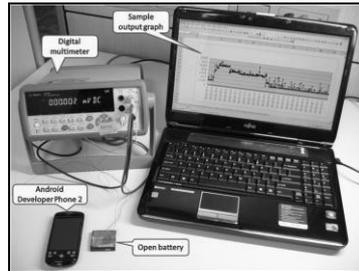


Fig. 2. Sistema de medición de alta precisión.

En [4] 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 3). 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.

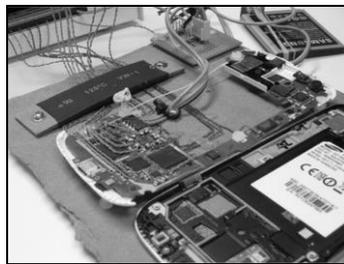


Fig. 3. Medición del consumo energético a nivel circuito

En [5] se presenta un estudio comparativo de la eficiencia energética en dispositivos y aplicaciones móviles, se utilizó el programa Trepro profiler [6] para medir el rendimiento y el consumo de energía de aplicaciones Android en dispositivos con procesadores SnapDragon desarrollados por la empresa Qualcomm. Trepro 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 4).

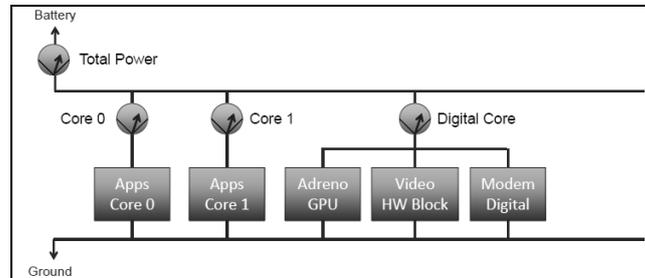


Fig. 4. Sensores incorporados en los procesadores Snapdragon.

También se efectuaron estudios desde el punto de vista del comportamiento humano, en [7] se presenta una investigación para determinar la forma en la que las personas cargan sus dispositivos móviles (patrones de carga). En el desarrollo del artículo se realiza una discusión de las implicancias de la conducta del usuario en la duración de la batería y el uso de la energía.

1.3 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 [8].

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) [9]; 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.

1.4 Cargadores solares para dispositivos móviles

En [10] y [11] 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 [12] 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.

2. Metodología utilizada

A continuación se enumeran los pasos de la metodología utilizada en este trabajo:

1. Medir el consumo de energía del celular sin carga de trabajo (e_0).
2. Seleccionar una tarea (T_1), la tarea en función de los requerimientos informáticos de los pobladores de la zona en zona rural (Ej.: Descarga de contenido Web).
3. Definir los niveles de rendimiento aceptables para la ejecución de la tarea (Ej.: Retardo, Throughput).
4. En función de la capacidad del celular seleccionar aplicaciones móviles para ejecutar la tarea ($app_1, app_2, \dots, app_n$).
5. Seleccionar una tecnología de comunicación según la disponibilidad en la zona (Ej.: GPRS/EDGE/UMTS/HSDPA).
6. Ejecutar la tarea utilizando las aplicaciones seleccionadas para medir el consumo de energía y el rendimiento de cada aplicación. Se realizan varias repeticiones en distintos horarios para contemplar diferentes niveles de carga de la red celular.
7. Seleccionar la aplicación con el menor consumo de energía y que se encuentre dentro de niveles aceptables de rendimiento, $e_1 = \min(e_{app1}, e_{app2}, \dots, e_{appn})$.
8. Calcular la energía total requerida $e = e_0 + e_1$
9. Efectuar un relevamiento de los niveles de radiación solar de la zona rural.
10. Estimar la energía que el sistema fotovoltaico puede entregar (e_{SF}) en función de valores de radiación solar de la zona rural y de las características técnicas del panel. La hora es una variable a considerar para realizar la estimación, debido a que la radiación solar es elevada cerca al mediodía y es reducida en las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde.
11. Analizar los resultados obtenidos.
Si el sistema fotovoltaico es capaz de entregar energía suficiente para realizar la tarea T_1 ($e_{SF} \geq e$), se debe determinar la franja horaria en la cual puede entregar la energía requerida. El remanente ($e_{SF} - e$) será utilizado para cargar la batería del celular.

Si el sistema fotovoltaico NO es capaz de entregar energía suficiente para realizar la tarea T_1 ($e_{SF} < e$), determinar el tiempo de carga necesario para transferir a la batería del celular la energía suficiente para ejecutar la tarea T_1 .

Si los requerimientos energéticos del celular son muy superiores a los que el panel puede proporcionar, las mediciones efectuadas pueden ser utilizadas para ampliar el sistema fotovoltaico existente o dimensionar uno nuevo.

3. Escenario de estudio

En la Figura 5 se observa la representación gráfica del escenario implementado para realizar las pruebas y mediciones. En el mismo se conecta un Smartphone a un servidor a través de la red celular e Internet. El dispositivo móvil (Cliente) se comunica con el servidor utilizando un canal de comunicación TCP/IP extremo a extremo (end to end). La recarga del celular se efectúa utilizando energía solar a través de un panel fotovoltaico en forma directa, sin utilizar baterías externas, de esta manera: se puede medir sin pérdidas la potencia que puede entregar el panel, se evita la contaminación que producen las baterías externas y se eliminan las tareas de mantenimiento de las baterías, tareas que son costosas y difíciles de realizar en zonas aisladas.

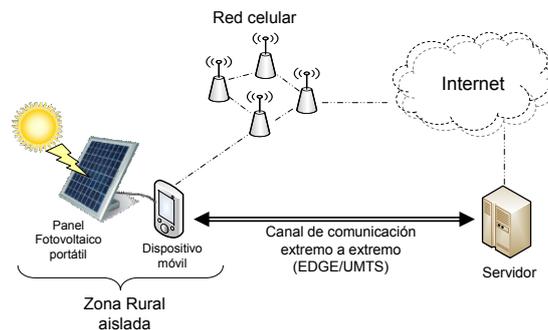


Fig. 5. Escenario de estudio.

3.1 Configuración del nodo cliente

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-ion, 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.

3.2 Configuración del sistema fotovoltaico

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

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

Potencia que recibe el panel = radiación solar x área útil del panel = $1000\text{W} \times 0,07727 = 77,27 \text{ W}$
Eficiencia = potencia que entrega / potencia que recibe = $10\text{W}/77,27\text{W} = 0,1294$ (12,94%)

3.3 Mediciones realizadas

A continuación se presenta la configuración utilizada para las mediciones:

Tarea (T ₁):	Descarga de contenidos Web
Protocolo:	HTTP
Tecnologías de comunicación:	EDGE y WCDMA
Aplicación 1 (app ₁):	Chrome
Aplicación 2 (app ₂):	Mozilla Firefox
Franja horaria de pruebas:	8:00 a 19:00

El consumo de energía en el nodo cliente se midió utilizando la aplicación Trepn Profiler [6], esta herramienta utiliza sensores internos incorporados en los chipset Qualcomm para determinar con alta precisión el consumo de energía del sistema y de el 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 [13].

En la figura 5 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).

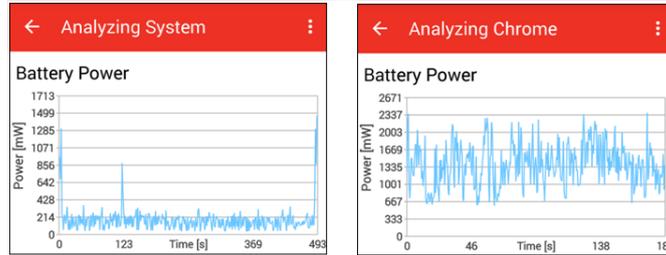


Fig. 5. Consumo de energía del celular sin ejecutar aplicaciones y consumo de energía de una aplicación.

Para determinar la energía entregada por el panel fotovoltaico, se utilizaron los valores de radiación del día 29/07/2015 de 8:00 a 19:00, los mismos se expresan en potencia por metro cuadrado (Watt x m²) y fueron normalizados de acuerdo a la eficiencia del panel (12,94%). Ejemplo:

Hora 12:00, radiación solar = 663Wm²
 Potencia recibida = radiación solar x área útil del panel = 663Wm² x 0,07724 m²= 51,21W
 Potencia entregada = 51,21W x 0,1294 = 6,62 W

4. Resultados

A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos, utilizando gráficos que resumen los aspectos estudiados.

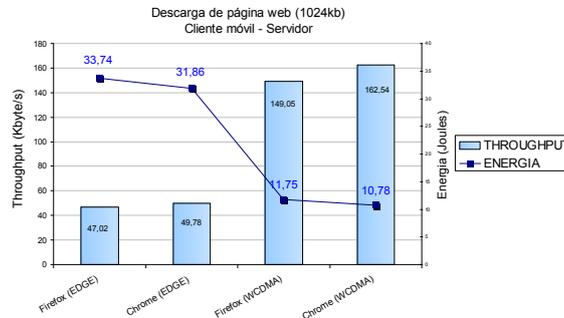


Fig. 6. Throughput y consumo de energía para tráfico HTTP generado por Chrome y Firefox

Los resultados presentados en la figura 6 evidencian que Chrome alcanza un rendimiento ligeramente superior al navegador Firefox. Se observa que el uso de la tecnología WCDMA en lugar de EDGE, reduce el gasto energético en un 33% (de 31,86 a 10,78 Joules) y triplica el throughput.

El consumo de energía se calculó en función de la potencia utilizada por la aplicación, en el caso de Chrome sobre WCDMA la potencia fue de 1,71W (en promedio), a este valor se le debe agregar la potencia mínima que requiere el celular para su funcionamiento 0,21W, totalizando 1,92W de potencia, que en una hora será equivalente a 1,92Wh.

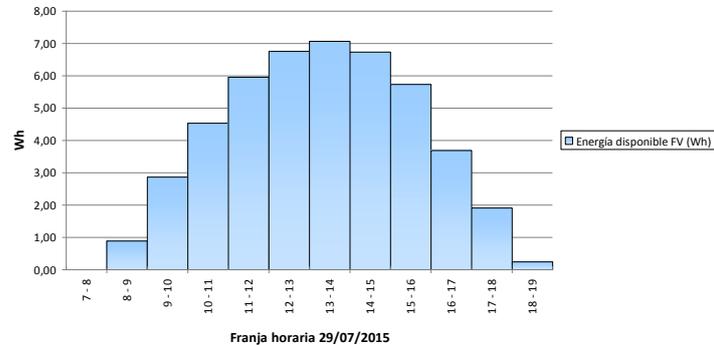


Fig. 7. Energía entregada por el panel fotovoltaico

En la figura 7 se presentan los valores entregados por el panel fotovoltaico de 7:00 a 18:00 el día 29/07. La energía entregada entre las 9:00 y 18:00 posibilitó la ejecución de las aplicaciones (Chrome/Firefox) y el remanente fue utilizado para cargar la batería del celular. Ejemplo: al ejecutar Chrome sobre WCDMA en el horario pico (13:00 a 14:00) se generó un remanente de $(7\text{Wh}-1,92\text{Wh})=5,08\text{Wh}$ de energía.

6. Conclusiones y trabajos futuros

La tecnología WCDMA ofrece un mejor rendimiento que EDGE y reduce el consumo de energía, lamentablemente no siempre esta disponible en zonas rurales aisladas, donde solamente se encuentran tecnologías EDGE y GPRS y en algunos casos es necesario instalar amplificadores de señal.

El remanente de energía que entrega el panel se puede utilizar para ejecutar otras tareas en función de los requerimientos del usuario de la zona rural: Acceso a correo electrónico, mensajería, posicionamiento asistido y otras.

Conociendo la potencia que entrega el panel y la potencia que requiere el celular para funcionar, se puede determinar el tiempo de carga de la batería del celular. Este valor puede ser importante para viajeros con limitaciones de tiempo y también en casos de ser necesario el uso en horarios de baja radiación solar.

Si la energía que entrega el panel esta muy por encima de la energía que requiere el celular, se pueden modificar las dimensiones del panel para que se ajuste a los requerimientos de energía del celular, un panel de menor tamaño será mas fácil de transportar (portabilidad) y de orientar para obtener mejor ganancia de radiación solar.

Para continuar con esta línea de investigación se tiene previsto la construcción de un cargador solar portátil que interactúe 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.

Referencias

1. Zhang, Lide. (2013). *Power, Performance Modeling and Optimization for Mobile System and Applications*. (Thesis - Doctor of Computer Science and Engineering), University of Michigan.
2. 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>
3. Thiagarajany, Narendran; Aggarwal, Gaurav; Nicoara, Angela (2012, April). *Who Killed My Battery: Analyzing Mobile Browser Energy Consumption*. Paper presented at the WWW 2012 – Session: Mobile Web Performance, Lyon, France.
4. Aaron, Carroll; Gernot, Heiser. (2013, July). *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.
5. Metri, Grace; Shi, Weisong; Brockmeyer Monica (2015, February). *EnergyEfficiency Comparison of Mobile Platforms and Applications: A Quantitative Approach*. Paper presented at the HotMobile Santa Fe, NM, USA.
6. Qualcomm Technologies. (2014). Trepp Profiler. from <https://developer.qualcomm.com/mobile-development/increase-app-performance/trepp-profiler>
7. 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.
8. Ottavianelli, Emilce; Ibarra Marcelo; Cadena Carlos. (2013, Noviembre). *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.
9. Secretaria de Energia - Ministerio de Planificación. (2015). PERMER, Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales. from <https://www.se.gob.ar/permer/>
10. Attia, Y. I. Al-Mashhadany; H. A. (2014, April). Novel Design and Implementation of Portable Charger through Low-Power PV Energy System. *Advanced Materials Research*, 925, pp. 495-499 (ISSN 1662-8985).
11. 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.
12. Távora, Filipe; Maia, Andrea Sarmiento. (2012, june). *Solar Battery charger for portable devices application*. SiliconReef Consultoria, Pesquisa e Projetos em Tecnologia da Informação. Retrieved from www.siliconreef.com.br
13. 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/trepp-whitepaper-apps-power.pdf>