PROPUESTA PARA EL USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES ABASTECIDOS CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESCUELAS RURALES AISLADAS

Sergio Rocabado – srocabado@di.unsa.edu.ar
Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) – Salta, Argentina
Carlos Cadena – cadenainenco@gmail.com
Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) – Salta, Argentina
Adriana Binda – abinda@di.unsa.edu.ar
Ernesto Sanchez – esanchez@cidia.unsa.edu.ar
Universidad Nacional de Salta (UNSa), Facultad de Ciencias Exactas – Salta, Argentina

Resumen. *Se presenta una propuesta tecnológica que posibilita el acceso a información digital a docentes y alumnos de escuelas rurales, mediante el uso de dispositivos móviles de bajo consumo energético y utilizando un prototipo de cargador solar de tamaño y peso reducido para la recarga de las baterías. La propuesta se sustenta en: a) Una metodología para determinar el consumo energético de aplicaciones móviles de uso frecuente en zonas rurales b) Un prototipo de cargador solar portátil que incorpora una placa Arduino para interactuar con un dispositivo móvil y c) Una aplicación móvil GIRaSol (Gestión Inteligente de Recarga Solar) que gestiona la comunicación entre el celular y la placa Arduino del cargador.*
Se presentan, además, los resultados cualitativos obtenidos en la implementación de nuestra propuesta en escuelas rurales ubicadas en zonas aisladas del Noroeste de la Argentina (NOA).

Palabras-clave: *Cargador solar, Energía Solar fotovoltaica, Dispositivos Móviles, Eficiencia Energética, Escuelas rurales.*

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas rurales y en particular las zonas rurales aisladas, entre otros aspectos, por su baja densidad poblacional en condiciones de vulnerabilidad económica, aislamiento geográfico y carencia de servicio de distribución de energía eléctrica. La región Noroeste de Argentina (NOA) posee numerosas escuelas que se encuentran ubicadas en este tipo de zonas (Magadán, 2008) . En estos establecimientos educativos el aprendizaje mediado por tecnologías es prácticamente inexistente debido a las limitaciones energéticas de la zona y al elevado consumo de los equipos computacionales. Sin embargo, los dispositivos móviles (Celulares y/o Tabletas) constituyen una alternativa viable para este tipo de escuelas, por su bajo consumo energético respecto de computadoras convencionales, haciendo posible que los alumnos se nutran de nuevas estrategias de aprendizaje que contribuyen a reducir la brecha digital existente entre los alumnos de los centros urbanos y rurales

En este artículo se presenta una propuesta para posibilitar la enseñanza mediada por TICs en escuelas rurales recurriendo a una alternativa viable sustentada en que los dispositivos móviles presentan un bajo consumo energético y permiten el aprovechamiento de energías renovables (solar fotovoltaica). La propuesta busca solucionar las siguientes carencias de las escuelas rurales aisladas: 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 continúo de dispositivos móviles y conexión permanente a la red celular.

2. RECURSOS TECNOLÓGICOS UTILIZADOS

21 Caracterización del consumo energético en dispositivos móviles

En los últimos años se produjo una notable evolución tecnológica en los dispositivos móviles en general y en particular en los teléfonos celulares, los nuevos equipos llevan integrados una gran variedad de componentes para brindar a sus usuarios funcionalidades avanzadas. Para utilizar estos dispositivos en zonas donde las posibilidades de recarga son limitadas, será necesario caracterizar el consumo energético de los dispositivos para implementar métodos de administración de energía que permitan reducir el consumo de la energía disponible (eficiencia energética).

Sin embargo, obtener el consumo de energía de un dispositivo móvil no es una tarea fácil de realizar. En (Zhang, 2010), (Thiagarajany, 2012), (Aaron, 2013) y (Metri, 2015) se llevan a cabo estudios que centran su problemática en determinar el consumo energético de un dispositivo móvil a partir de la potencia consumida por sus componentes principales: CPU, LCD, WiFi, Bluetooth y Red celular (2G/3G/4G).

Los mecanismos utilizados para efectuar las mediciones en estos estudios, se pueden dividir en tres grupos principales:

1. Herramientas de hardware para medir la potencia consumida: multímetros con conexiones a batería abierta y multímetros conectados a circuitos internos.
2. Aplicaciones de software que estiman el consumo energético en base a modelos de potencia.
3. Sensores incorporados en los circuitos del dispositivo que son monitoreados por una aplicación móvil.

La metodología usada para caracterizar el consumo energético de aplicaciones móviles utilizadas en zonas rurales aisladas fue desarrollada por nuestro grupo y publicada en (Rocabado y Cadena, 2015a) y (Rocabado Sergio, 2016a). El consumo energético de las aplicaciones se obtiene utilizando la aplicación "Trepn Profiler", la cual monitorea los sensores incorporados en los procesadores SnapDragon de Qualcomm (Qualcomm Technologies, 2014) para medir el consumo de energía detallado en tiempo real y por aplicación (*Fine-grained*) en un dispositivo móvil.

A continuación se resumen los pasos de la metodología desarrollada:

1. Relevar las tareas de uso frecuente en zonas rurales, a modo de ejemplo se pueden mencionar: Navegación Web, Mensajería instantánea, Acceso a contenidos educativos.
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), Acceso a contenidos educativos (Apprendiendo!).
3. Determinar el consumo energético de las aplicaciones para realizar la tarea asignada. La medición se realizó utilizando "Trepn Profiler" siguiendo el procedimiento publicado en (Rocabado Sergio, 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.

En la Figura 1 se ilustra un ejemplo de perfil que agrupa tres tareas: Navegación, Mensajería y Acceso a contenidos educativos. Se observa que las aplicaciones de menor consumo energético son: Chrome para la navegación (1549mWh), Whatsapp para mensajería (1612 mWh) y Apprendiendo! para acceso a contenidos educativos (950mWh). Además, el total de consumo para el perfil es de 4111 mWh.

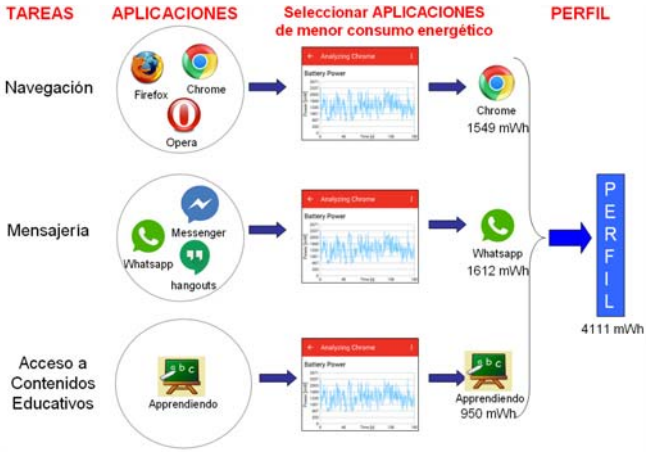


Figura 1. Perfiles de consumo energético

22 Cargadores solares portátiles

Como parte de la propuesta se presenta un cargador solar de tamaño y peso reducido que interactúa con el dispositivo móvil. Los datos de radiación solar y temperatura que entrega el cargador permiten estimar la energía disponible para el dispositivo. Esta energía se administra planificando la ejecución de aplicaciones en función de sus requerimientos energéticos.

El prototipo (Figura 2) se construyo a partir de un panel fotovoltaico de tamaño reducido al cual se le agregaron sensores de radiación solar, temperatura y humedad y una placa de control Arduino. Los sensores están conectados a la placa Arduino, en la cual se ejecuta un programa de control que periódicamente recolecta los valores de los sensores y los almacena en una memoria flash para ser enviados al dispositivo móvil cuando son requeridos.

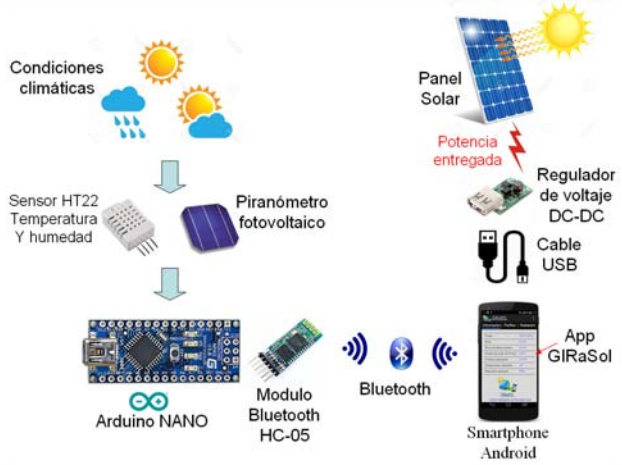


Figura 2. Prototipo de Sistema Fotovoltaico

Para comunicar el dispositivo móvil con el cargador se desarrolló la aplicación móvil GIRaSol (Gestión Inteligente de Recarga Solar), esta aplicación se comunica a través de Bluetooth con la placa Arduino instalada en el cargador, obtiene y utiliza los datos almacenados en la memoria flash para estimar la cantidad de energía que el cargador solar puede suministrar al dispositivo móvil.

Antes de utilizar Girasol se deben definir perfiles de aplicaciones y caracterizar su consumo energético utilizando la metodología presentada en el apartado anterior. Los perfiles a utilizar en el dispositivo se cargan en Girasol mediante un formulario de carga de datos.

Para verificar el funcionamiento de la herramienta realizamos una prueba del prototipo de cargador solar y de la aplicación Girasol:

- En primer lugar, se caracterizaron dos perfiles: el PERFIL 1 con 3 aplicaciones (Chrome, Whastapp y Apprendiendo!) con un consumo de 4,11Wh y el PERFIL 2 con 2 aplicaciones (Chrome, Whastapp) con un consumo 3,16 Wh. Estos datos fueron cargados en Girasol (Figura 3).

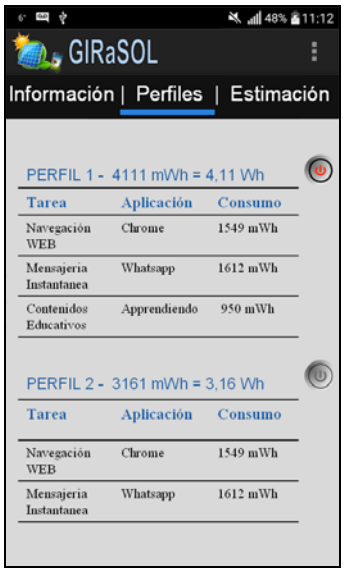


Figura 3. GIRaSol – Perfiles

- A continuación se conectó por Bluetooth el dispositivo con la placa Arduino del sistema fotovoltaico, una vez detectada la conexión Girasol recolectó los datos almacenados en la memoria flash de Arduino y estimó la potencia que el panel fotovoltaico utilizado es capaz de entregar. En la Figura 4 se observa una captura de pantalla con la información mostrada por Girasol, además de la potencia se observa información de horario y clima (recolectada por los sensores).

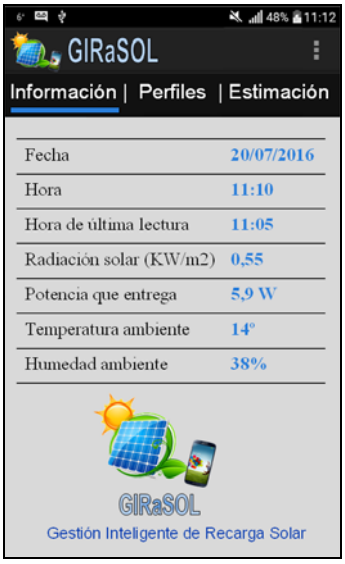
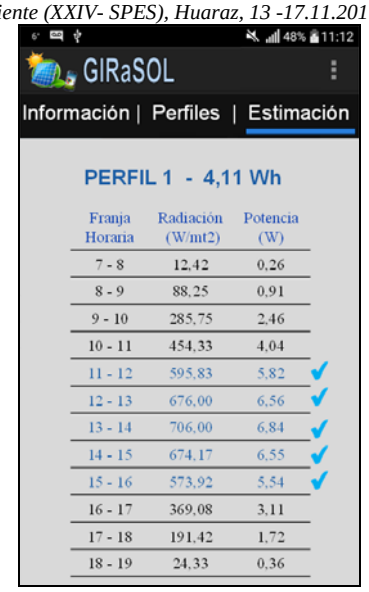


Figura 4. GIRaSOL pantalla de información

- Finalmente, se verificaron en girasol las franjas horarias en las que se puede ejecutar un perfil de aplicaciones (Figura 5).



Franja Horaria	Radiación (W/mt2)	Potencia (W)
7 - 8	12,42	0,26
8 - 9	88,25	0,91
9 - 10	285,75	2,46
10 - 11	454,33	4,04
11 - 12	595,83	5,82
12 - 13	676,00	6,56
13 - 14	706,00	6,84
14 - 15	674,17	6,55
15 - 16	573,92	5,54
16 - 17	369,08	3,11
17 - 18	191,42	1,72
18 - 19	24,33	0,36

Figura 5. GIRaSol – Franjas horarias

Aspectos destacables:

- Girasol posibilita obtener la siguiente información: Potencia entregada por el sistema fotovoltaico, Franjas horarias en las que se pueden ejecutar los perfiles de aplicaciones, Tiempo de carga de la batería, Temperatura y humedad ambiente.
- No se utilizan 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.
- El voltaje que entrega un sistema fotovoltaico, generalmente, es superior al voltaje requerido por la batería del celular. En nuestro prototipo el panel fotovoltaico fue modificado para conectar las celdas en paralelo, esto 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 entregada al celular (Rocabado y Cadena, 2016a). El sistema fotovoltaico modificado optimiza la potencia entregada al celular y posibilita la ejecución de perfiles de aplicaciones que serian descartados con el panel original.

3. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Para la implementación de la propuesta la escuela rural debe disponer del siguiente equipamiento:

- Para el docente: Un celular con Chipset Snapdragon y Sistema Operativo Android y un sistema fotovoltaico con placa de control Arduino (prototipo presentado en el apartado 2.3).
- Para cada alumno: Un celular con Chipset Snapdragon y Sistema Operativo Android y un sistema fotovoltaico simple (sin placa de control ni sensores). El panel solar del sistema fotovoltaico simple tendrá las mismas dimensiones del panel utilizado por el docente.

La propuesta se divide en 5 etapas que se resumen a continuación:

1. Relevamiento de aplicaciones necesarias para desarrollar la clase en la escuela rural. Las aplicaciones libres se pueden instalar desde el Market de Google. Si se requiere acceder a contenidos educativos alojados en un servidor remoto se recomienda desarrollar una aplicación especifica (de bajo consumo energético) con las recomendaciones explicitadas en 2.4.
2. Definición de perfiles. Agrupar en perfiles las aplicaciones relevadas y caracterizar el consumo energético para cada perfil. Esta tarea será desarrollada por personal técnico utilizando la metodología presentada en 2.1.
3. Capacitación al docente. El personal técnico debe capacitar al docente de la escuela en los siguientes temas: Principios básicos de la energía solar fotovoltaica, uso del sistema fotovoltaico, uso de la aplicación GIRaSol, consumo energético de los perfiles de aplicaciones, configuración de una piconet Bluetooth y conexión del dispositivo móvil a la red celular.
4. Planificación de la clase. El docente se traslada a la escuela rural y procede a:
   - Instalar el sistema fotovoltaico y direccionar el mismo para optimizar la ganancia.
   - Conectar el celular a la placa Arduino del cargador solar.
   - Ejecutar Girasol y determinar las bandas horarias para la ejecución de perfiles.
   - Definir horarios y contenidos de su clase en función de las bandas horarias en las que se puede ejecutar las aplicaciones que necesita utilizar.

5. Desarrollo de la clase. El docente realiza las siguientes acciones:

   - Verificar la carga de los equipos de alumnos. En caso de ser necesario conecta el dispositivo del alumno a un panel fotovoltaico simple y orienta el mismo para mejorar la ganancia.

   - Dictar la clase, utilizando los dispositivos móviles para acceder a contenidos educativos en Internet y/o recursos m-learning almacenados en servidores remotos.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

En este apartado se relatan experiencias realizadas por nuestro grupo de investigación en escuelas rurales aisladas del NOA haciendo uso de la propuesta presentada.

En (Rocabado y Herrera, 2013) se desarrollo una clase utilizando dispositivos y aplicaciones móviles de bajo consumo energético para acceder a contenidos educativos alojados en servidores remotos. Finalizada la clase, se realizaron entrevistas al profesor y a las autoridades del establecimiento educativo, quienes manifestaron que veían esta experiencia como algo novedoso que motiva a los alumnos en el deseo de aprender y que permite mejorar el aprendizaje.

En (Rocabado Sergio y Herrerra Susana, 2016b) se repite la experiencia en una escuela de la provincia de Santiago del Estero, haciendo uso de cargadores solares fotovoltaicos y la aplicación GIRaSol. Al finalizar se realizaron encuestas a docentes y una entrevista personal al coordinador. Los resultados obtenidos en las entrevistas y encuesta fueron muy satisfactorios desde el punto de vista educativo. Al mismo tiempo, los alumnos manifestaron un gran interés por la energía solar fotovoltaica y por la posibilidad de utilizar los cargadores solares portátiles en sus hogares.

La región Noroeste de Argentina (NOA) posee zonas donde las condiciones de aislamiento geográfico (grandes distancias entre las viviendas y las escuelas o los centros urbanos) motivaron la creación de albergues dentro de las escuelas como una forma de garantizar que los chicos asistan cotidianamente a clases. En algunos casos, los alumnos viven en los albergues durante toda la semana (de lunes a viernes) y en otros, permanecen durante todo el ciclo lectivo o en períodos específicos. Estos establecimientos disponen de un plantel docente muy reducido, generalmente un director y un profesor que imparte educación en los diferentes grados. Cuentan con la asistencia de un profesor itinerante que recorre un itinerario de escuelas con el fin de orientar y apoyar al maestro en el desarrollo de sus tareas educativas. En (Rocabado y Ottavianelli, 2017) se presentan los resultados cualitativos obtenidos en la implementación de nuestra propuesta en una escuela albergue de la provincia de Salta, donde el maestro de la escuela desarrolló una clase con la colaboración de un profesor itinerante, quien brindó soporte para el uso de TICs en el aula. La experiencia resulto muy positiva, el profesor itinerante manifestó su interés por trasladar la propuesta a otras escuelas que tiene asignadas, mientras que los chicos del albergue pueden aprovechar la energía solar para recargar sus celulares durante su permanencia en el albergue sin tener que trasladarse a pueblos cercanos que dispongan energía eléctrica.

5. CONCLUSIONES

En las zonas rurales aisladas del país la instalación de redes eléctricas tiene un elevado costo debido a las distancias, a las dificultades de acceso y al escaso número de pobladores. El prototipo presentado apunta a solucionar esta carencia con una propuesta sustentable de bajo costo, haciendo uso de componentes económicos y energía renovable.

El uso de fuentes de energías renovables permite no solo llegar a escuelas rurales sin acceso a la energía eléctrica, sino que de forma indirecta introduce las energías renovables en la vida de estos pobladores, pudiendo concientizar a los mismos de las ventajas de su uso.

El equipamiento involucrado no utiliza baterías de plomo ácido, las cuales además de contaminantes, necesitan de mantenimiento, y de recambio luego del período de vida útil, cuestiones no menores debido a las distancias que existen a los centros urbanos próximos.

Las principales contribuciones de la propuesta son:

- Disminución de la brecha digital existente entre establecimientos educativos rurales y urbanos.
- Uso de una fuente de energía renovable para la recarga de dispositivos móviles en escuelas rurales que no dispongan de servicio de energía eléctrica. Docentes y alumnos de estas escuelas no tendrán necesidad de desplazarse a centros urbanos para recargar sus equipos.
- Mejoras en el uso de la tecnología disponible en zonas aisladas, teniendo en cuenta que algunos alumnos de estas escuelas 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 docentes y alumnos de escuelas rurales, 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, posibilitando a los docentes el empleo de las tics y acercando las tecnologías de la información y comunicación a niños de estas comunidades.

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.

Magadán, C. (2008). *Las Tic en Escuelas rurales de La Argentina*. Las TIC: del aula a la agenda política, Ponencias del Seminario internacional Cómo las TIC transforman las escuelas. IIPE-UNESCO, Sede Regional Buenos Aires, UNICEF.

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.

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.

Rocabado Sergio, Cadena Carlos. (2016a). *Mini sistemas fotovoltaicos para el uso de dispositivos móviles en zonas rurales: Optimización de la potencia entregada y consumida.* Paper presented at the Congreso Brasilero de Energía Solar - CBENS 2016.

Rocabado Sergio, Cadena Carlos, Herrerra, Susana. (2016b). *M-learning en escuelas rurales.* Paper presented at the TE&ET 2016, Morón - Provincia de Buenos Aires - Argentina. ISBN: 978-987-3977-30-5. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/53517

Rocabado, Sergio; Herrerra, Susana. (2013). *M-learning en zonas de recursos limitados*. Paper presented at the TE&ET 2013, Santiago del Estero - Argentina. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27585

Rocabado, Sergio; Ottavianelli, Emilce. (2017). *Propuesta para el uso de TDICs en comunidades educativas rurales. Una experiencia en escuelas albergue*. Paper presented at the Congresso Brasileiro de Informática da Educação, Recife - Brasil.

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; 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