

# Administración en Tiempo Real para Estaciones de Recarga de Teléfonos Inteligentes

Yessica Sáez, PhD<sup>1</sup>, Edwin Collado, PhD<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá,  
{yessica.saez, edwin.collado}@utp.ac.pa

*Resumen— Un parámetro de creciente importancia en dispositivos de comunicación alimentados por batería, como lo son los teléfonos inteligentes, es el tiempo en que el mismo puede ser operado antes de que deba recargarse. Lamentablemente, la capacidad de la batería de estos dispositivos no está evolucionando al mismo ritmo que evolucionan sus requerimientos de energía, lo cual lleva a pensar que la vida de la batería de estos equipos modernos parezca estar disminuyendo de una generación de dispositivos a otra. La creación de estaciones públicas donde los usuarios pueden recargar sus baterías ha sido una de las tantas soluciones propuestas para tratar de mitigar el problema de batería inherente en los teléfonos inteligentes. Sin embargo, la mayoría de los mecanismos empleados en estas estaciones no proporcionan un plan de recarga eficiente que garantice un servicio adecuado a todos los clientes, ya que recargan a los usuarios en forma secuencial con respecto a sus tiempos de llegadas. Por lo tanto, el presente trabajo propone un algoritmo que permite coordinar los procesos de recargas de baterías en tiempo real de una estación de recarga de teléfonos inteligentes, con el objetivo de incrementar el número de usuarios servidos y de utilizar adecuadamente los recursos del sistema. Los resultados de simulaciones muestran que el algoritmo propuesto no solo garantiza una utilización eficiente de las conexiones de la estación de recarga, sino que también asegura un alto porcentaje de carga para todos los usuarios.*

*Palabras claves—Estación de recarga, teléfonos inteligentes, administración de procesos, proceso de recarga de batería.*

## I. INTRODUCCIÓN

Los dispositivos portátiles de batería recargable se han convertido en una parte integral de la vida diaria del ser humano, brindando una amplia variedad de soluciones que facilitan el desarrollo y ejecución de diversas tareas, tales como gestión de negocios, educación a distancia y monitoreo de salud, clima, tráfico, comportamiento humano y social, entre otros [1]. Esto ha llevado a un rápido crecimiento en la producción y adopción de este tipo de dispositivos. Solamente el mercado de los teléfonos inteligentes o “Smartphones” ha crecido exponencialmente en los últimos años, tanto así, que se estima que, para finales del 2017, el 34 por ciento de la población mundial tendrá un teléfono inteligente, una cifra que estaba a menos del 10 por ciento en el 2011 [2].

A medida que crece la demanda de mejores teléfonos inteligentes, incrementa también la demanda de mejores y mayores características y funciones. Sin embargo, el éxito de un teléfono inteligente no sólo depende de estas funciones y características, sino también de la duración de su batería.

Desde el punto de vista de los usuarios de estos dispositivos, no existe mayor incomodidad que no poder utilizarlo debido a que el mismo no cuenta con suficiente batería y no se cuenta con un lugar disponible para cargarlo.

Lamentablemente, las características llamativas e innovadoras de la industria de los teléfonos inteligentes tienen sus límites: la vida de la batería de estos dispositivos es relativamente baja. Esto se debe principalmente, a que las aplicaciones, las llamadas y los mensajes de entrada y de salida, el uso de internet e incluso el mismo procesador, requieren de mucha energía para su funcionamiento. Además, la industria de baterías para teléfonos inteligentes no ha avanzado lo suficientemente rápido para poder mantener el ritmo de las crecientes demandas de energía de estos dispositivos. Por ello, se han realizado diversos estudios para analizar el consumo de energía de los teléfonos inteligentes y el comportamiento de los usuarios al utilizarlos [1], [3]-[8]. Esto ha impulsado a muchos investigadores alrededor del mundo a conducir estudios para presentar soluciones a la problemática relacionada con el consumo de energía de los teléfonos inteligentes. Por ejemplo, los autores de [9] presentan un método sistemático para mejorar la eficiencia de la conversión de energía a nivel de sistema en teléfonos inteligentes. Los trabajos presentados en [10]-[12] presentan técnicas novedosas de computación “offloading”, propuestas con el objetivo de migrar grandes volúmenes de procesamiento de los dispositivos con recursos limitados como los teléfonos inteligentes, a máquinas ricas en recursos, como la nube. Con este tipo de técnicas se evita tomar largos lapsos de tiempo de ejecución de aplicaciones en los dispositivos móviles, lo cual daría lugar a un alto consumo de energía, desgastándola en poco tiempo. En [13], [14], se presentan métodos de gestión de energía de dispositivos móviles que toman en consideración el contexto en que se encuentre el usuario. También, existen numerosos trabajos dedicados a mejorar la vida de la batería de dispositivos de evolución a largo plazo (LTE, long-term evolution), como los teléfonos inteligentes y las tabletas [15]-[20].

Otra posible alternativa para resolver la problemática relacionada a la energía de los teléfonos inteligentes es la creación de estaciones públicas donde los usuarios pueden recargar sus baterías. Dichas estaciones no solo benefician a los usuarios de teléfonos inteligentes, sino también a los dueños de locales públicos que podrían evitar que los clientes se vean obligados a abandonar sus instalaciones debido a la ansiedad generada por tener su teléfono sin carga. Motivados por este tipo de situaciones, las industrias de cargadores de celulares se

han interesado en satisfacer las demandas de usuarios que necesitan recargar públicamente sus dispositivos. En este sentido, se han desarrollado tanto cargadores portátiles para uso personal, como estaciones de recarga con múltiples cargadores que pueden ser utilizados en lugares públicos como aeropuertos, hospitales, centros comerciales, etc., y que pueden ser tanto libres de cargo, así como funcionar similarmente a las máquinas expendedoras.

El presente artículo se enfoca en las estaciones públicas de recarga de teléfonos móviles con múltiples cargadores, que cuentan con una sola fuente de energía. Existen muchas invenciones relacionadas con diseño de estaciones para recargar dispositivos simultáneamente [21]-[24]. Por ejemplo, la invención presentada en [23], se enfoca en recargar múltiples baterías con diferentes velocidades de carga, mientras se reduce el nivel de energía pico requerido para cargar dos o más baterías, al cargar las baterías simultáneamente. En [24] se desarrolla un aparato y método para cargar de forma rápida y eficiente una pluralidad de baterías a partir de una única fuente de alimentación. Con base en los trabajos presentados en [21]-[24], se distinguen ciertas dificultades que surgen al cargar múltiples baterías a partir de una sola fuente de energía. En primer lugar, el cargador debe poder acomodar cualquier combinación de la ocupación de los enchufes disponibles de batería. En segundo lugar, el cargador debe poder acomodar baterías que tienen diferentes niveles de carga. En tercer lugar, la estación de carga debe ser capaz de manejar situaciones dinámicas, ya que los usuarios pueden extraer o insertar aleatoriamente los dispositivos, lo cual no debe interrumpir los ciclos individuales de carga. También, es deseable que el cargador de batería pueda abordar estas preocupaciones, manteniendo al mismo tiempo su capacidad para cargar de manera eficiente las múltiples baterías. Cabe mencionar que las estaciones públicas de carga implementadas actualmente recargan las baterías de sus clientes de manera secuencial con base al tiempo de llegada de cada uno a la estación. Esto implica que dichas estaciones no poseen ningún mecanismo que proporcione un plan de recarga eficiente que garantice de alguna manera el servicio adecuado a todos los clientes.

Para abordar todas las dificultades mencionadas previamente, en el presente trabajo se propone un algoritmo que permite coordinar los procesos de recargas de baterías de una estación de carga de teléfonos inteligentes de manera eficiente, con el objetivo de incrementar el número de usuarios servidos y de utilizar adecuadamente los recursos del sistema. Para esto, el algoritmo toma en cuenta la capacidad del sistema, la cantidad de energía deseada por el cliente, la disponibilidad del usuario para posponer su proceso de carga y el tiempo que tiene el cliente para permanecer en la estación.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección II describe el modelo conceptual del sistema, la formulación del problema y el algoritmo propuesto para resolver el mismo. La sección III ilustra, a través de simulaciones, la funcionalidad y beneficios del algoritmo propuesto comparado con un sistema sencillo en donde los

procesos de cargas son aceptados solo si existe una conexión de recarga libre en el momento en que el usuario ingresa en el sistema. La sección IV presenta un resumen de los resultados; junto con importantes iniciativas de investigación que se considerarán en el futuro.

## II. MODELO DEL SISTEMA

### A. Estación de recarga

En la Fig. 1, se muestra el modelo conceptual de la estación de recarga propuesta en este artículo.

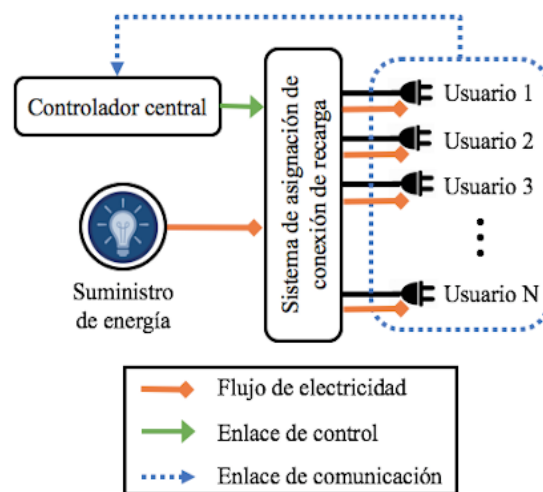


Fig. 1 Estación de recarga.

Este sistema está conformado por un controlador central que se encarga de decidir eficientemente cuándo y a quién recargar, utilizando información recolectada de los clientes, como por ejemplo el tiempo que tiene el cliente para permanecer en la estación, la capacidad del sistema, la cantidad de energía deseada por el cliente y la disponibilidad del usuario para posponer su proceso de carga. Esta información es ingresada al sistema mediante una interfaz de usuario, una vez el cliente arribe a la estación. Basado en esta información, el controlador central calcula el tiempo que realmente necesita el cliente para recargar su dispositivo y decide cómo acomodar el proceso de recarga en tiempo real, con el fin de incrementar el número de usuarios servidos y de utilizar adecuadamente los recursos del sistema. Una vez obtenida la solución, el controlador central envía dicha información al sistema de asignación de conexiones de recarga para administrar eficientemente las conexiones disponibles y el tiempo de servicio. El sistema de asignación de conexiones de recarga está conectado a múltiples líneas de conexión de recarga, en donde cada línea consta de un conector para teléfono inteligente. Una vez terminado el proceso de recarga, el controlador central envía una señal de control notificando al sistema de asignación de conexiones de recarga que dicha conexión está disponible. Posteriormente, el controlador central envía una notificación al cliente para hacerle saber que su proceso de recarga fue completado.

### B. Formulación del problema

En el problema de administración de procesos de recarga en tiempo real, el objetivo es obtener, cada vez que ingrese un nuevo cliente, el mejor plan de recarga para incrementar el número de usuarios servidos y utilizar adecuadamente los recursos del sistema. Esto no solo mejora el rendimiento de la estación, sino que también mejora la satisfacción de los clientes.

El proceso de administración de procesos de recarga está restringido por el tiempo de llegada del usuario a la estación  $a_i$ , el tiempo en el que el usuario tiene que retirarse de la estación  $d_i$ , el tiempo de inicio de recarga  $s_i$  y el tiempo de finalización de recarga  $f_i$ , para cada cliente  $1 \leq i \leq I$ . A su vez, este proceso dependerá de la información sobre los procesos de recargas que ya están en el sistema, del número de cargas simultáneas permitidas  $K$  (establecido de antemano por el operador), la cantidad de energía deseada por el cliente  $E_i$ , la velocidad de carga para cada conexión  $p$  (en este caso se asume una velocidad fija) y la disponibilidad del usuario para posponer su proceso de carga  $w_i$ . Basado en esta información, el controlador central calcula el tiempo necesario para recargar la batería del cliente utilizando la siguiente fórmula:

$$\tau_i = \frac{E_i}{p}, \quad (1)$$

en donde  $\tau_i$  es el tiempo real de carga que necesita la estación para satisfacer al cliente  $i$ .

A continuación, se presenta una descripción detallada del algoritmo propuesto para la estación de recarga inteligente.

### C. Algoritmo de la estación de recarga

El algoritmo propuesto para resolver el problema de administración de procesos de recarga en tiempo real se ilustra en la Fig. 2.

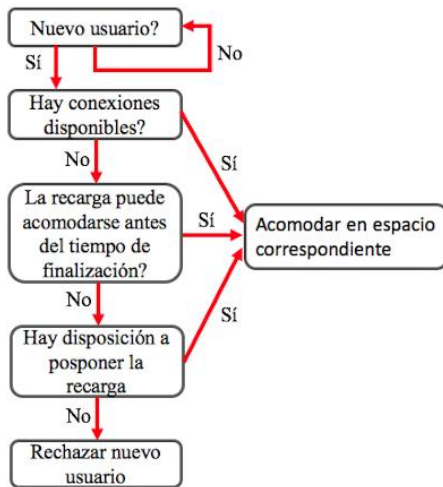


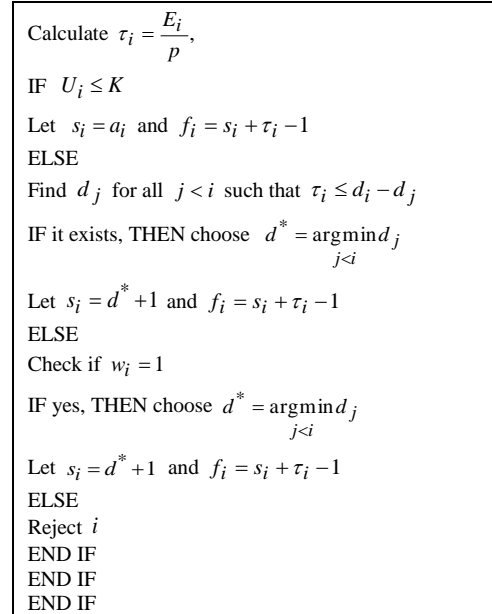
Fig. 2 Algoritmo para administración de procesos de recarga en tiempo real.

En el primer paso, el controlador central verifica si ha ingresado un nuevo usuario. Si esto ocurre, entonces comprueba si el número de recargas simultáneas después de aceptar el nuevo cliente  $i$ , definido como  $U_i$  todavía es menor al límite  $K$  establecido por el operador. Si esto es cierto, entonces envía la información al sistema de asignación de conexiones de recarga y el cliente es acomodado en el espacio correspondiente.

De lo contrario, el controlador central verifica si el nuevo usuario puede ser recargado después que algún cliente termine su proceso de recarga, tomando en cuenta el tiempo de finalización del nuevo usuario. Si esto ocurre, entonces el controlador central envía la información al sistema de asignación de conexiones de recarga y el cliente es acomodado en el espacio correspondiente. De lo contrario, el controlador central comprueba si el nuevo cliente tiene disposición para posponer su recarga después de su tiempo de finalización, en otras palabras, verifica si  $w_i = 1$ . De ser cierto, entonces envía la información al sistema de asignación de conexiones de recarga y el cliente es acomodado en el espacio correspondiente. De lo contrario, el controlador central rechaza el nuevo cliente.

La Tabla I, muestra el algoritmo utilizado en este trabajo.

TABLA I  
ALGORITMO PARA ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS DE RECARGA EN TIEMPO REAL



### III. SIMULACIONES Y RESULTADOS

En este artículo, se considera un escenario con  $I = 20$  usuarios de teléfonos inteligentes,  $T = 60$  intervalos de tiempo de operación del sistema (de 06:00 a.m. a 09:00 p.m.), en donde cada intervalo es de  $\Delta = 15$  min y un límite de cargas simultáneas  $K = 2$ . Los usuarios tienen un tiempo de llegada a

la estación  $a_i$  arbitrario entre  $[1, 30]$  intervalos de tiempo, un tiempo de salida  $d_i$  arbitrario entre  $[a_i + 4, 60]$  intervalos de tiempo, una necesidad de carga arbitraria entre  $[2, 8]$  unidades de carga y la disponibilidad de los usuarios para posponer la recarga  $w_i$ , la cual se define como 1 si el usuario está de acuerdo y 0 de otro modo. Por simplicidad, se asume que cada conexión de recarga tiene una velocidad de recarga fija de  $p = 1$  unidad de carga por cada intervalo de tiempo.

Las siguientes simulaciones muestran el rendimiento del algoritmo propuesto en este trabajo comparado con un sistema sencillo en donde los procesos de cargas son aceptados y recargados secuencialmente solo si existe una conexión de recarga libre en el momento en que el usuario ingresa en el sistema. En otras palabras, el sistema sencillo no consta con ningún sistema que le permita reubicar los procesos de carga para procesarlos posteriormente.

En la Fig. 3, se muestra el porcentaje promedio de clientes recargados satisfactoriamente. Para un mejor análisis, se consideraron 100 escenarios diferentes, en donde se varió arbitrariamente el tiempo de llegada a la estación, el tiempo de salida de la estación, la necesidad de carga deseada por el cliente y la disponibilidad de los usuarios para posponer la recarga, con la finalidad de estudiar mejor el comportamiento del algoritmo propuesto. Los resultados mostrados reflejan el comportamiento promedio para todos los casos. Además, se consideraron los casos cuando  $w_i = 0$  para todos los usuarios,  $w_i$  es arbitraria para todos los usuarios y  $w_i = 1$  para todos los usuarios. Se puede observar que para todos los casos de  $w_i$ , el algoritmo propuesto supera al modelo de estación sin mecanismo para coordinar los procesos de recargas de baterías. Específicamente, la estación sin algoritmo de coordinación garantiza en promedio un 49.45% de clientes satisfechos. Por el contrario, el algoritmo propuesto en este trabajo garantiza en promedio 71.45%, 75.05%, 100% de clientes satisfechos para  $w_i = 0$ ,  $w_i$  arbitraria y  $w_i = 1$ , respectivamente.

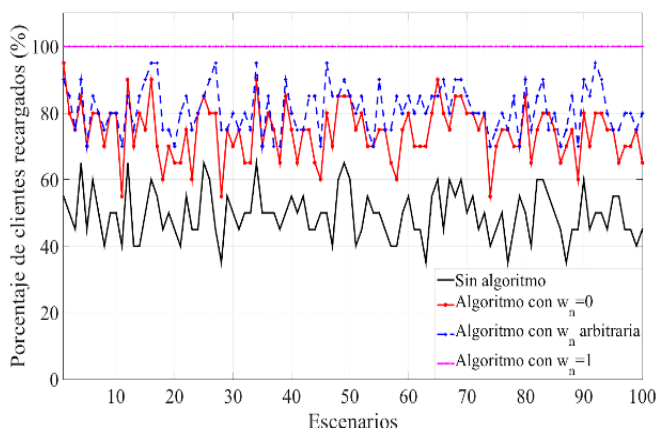


Fig. 3 Porcentaje promedio de clientes recargados satisfactoriamente

Otro aspecto importante para ilustrar es el plan de recarga final obtenido para cada valor de  $w_i$ . Para ello, se considera el siguiente escenario con  $I = 20$  clientes y  $K = 2$  (ver Tabla II).

TABLA II  
ESCENARIO PARA  $I = 20$  CLIENTES Y  $K = 2$  CARGAS SIMULTÁNEAS

Usuario	$a_i$	$d_i$	$E_i$	$w_i$	$w_i$	$w_i$
1	2	6	2	0	0	1
2	4	8	4	0	1	1
3	4	8	6	0	1	1
4	5	10	8	0	0	1
5	7	13	2	0	1	1
6	9	15	8	0	1	1
7	10	16	6	0	1	1
8	11	17	6	0	1	1
9	12	19	6	0	1	1
10	14	21	8	0	1	1
11	17	25	8	0	0	1
12	19	27	4	0	0	1
13	20	28	6	0	0	1
14	21	29	6	0	0	1
15	21	29	4	0	1	1
16	22	31	6	0	1	1
17	23	32	6	0	1	1
18	24	34	2	0	0	1
19	24	34	2	0	1	1
20	29	39	6	0	1	1

La Tabla III muestra grupo de clientes que fueron recargados satisfactoriamente bajo el escenario descrito previamente.

TABLA III  
CLIENTES RECARGADOS SATISFACTORIAMENTE PARA CADA ESCENARIO

Escenario	Clientes recargados satisfactoriamente
Estación sin algoritmo	1, 2, 3, 6, 7, 11, 12, 17, 20
Estación con algoritmo y $w_n = 0$	1, 2, 3, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 18, 19, 20
Estación con algoritmo y $w_n$ arbitraria	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 17, 19, 20
Estación con algoritmo y $w_n = 1$	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20

En la Fig. 4, se muestra el plan de recarga final obtenido en una estación simple sin algoritmo para coordinar los procesos de recargas de baterías bajo el escenario considerado previamente. En este caso, la estación solo puede aceptar un nuevo cliente cuando exista una conexión disponible para el proceso de recarga. Bajo este escenario, la estación pública de recarga solo puede aceptar y recargar un grupo de nueve clientes durante todo el periodo de operación, como se muestra en la figura.

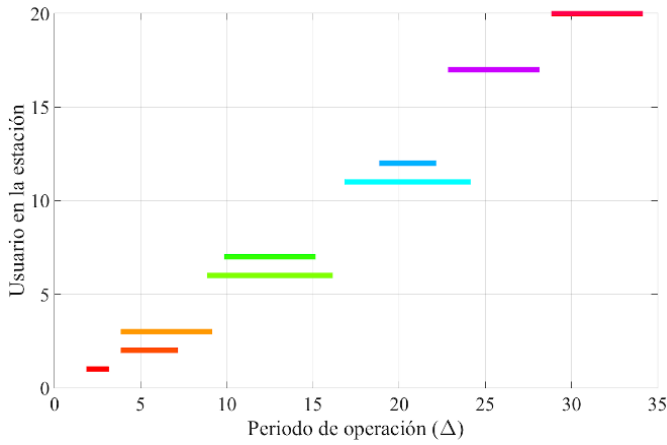


Fig. 4 Plan de recarga final sin algoritmo.

Al utilizar un mecanismo para coordinar los procesos de recargas de baterías, se espera que el número de clientes satisfechos incremente, lo cual mejora el servicio y ganancia del operador de la estación. En la Fig. 5, se muestra el grupo de clientes que fueron recargados satisfactoriamente, asumiendo que ningún cliente está dispuesto a posponer su proceso de recarga, en otras palabras, cuando  $w_n = 0$  para todos los clientes. Como se menciona en la Tabla II, el número de usuarios satisfechos para este escenario incrementa a 13.

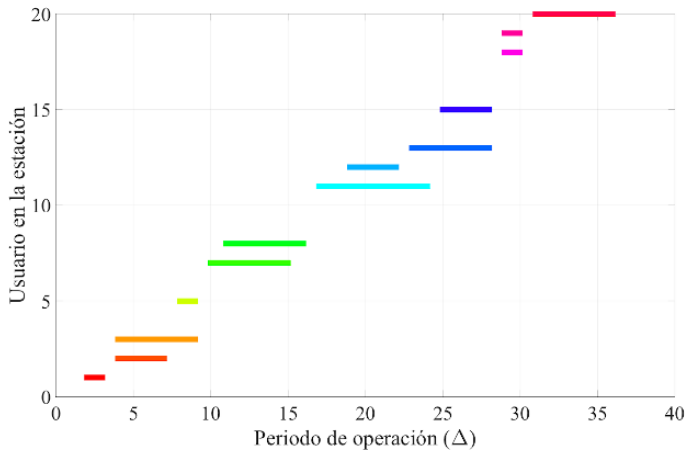


Fig. 5 Plan de recarga final con  $w_n = 0$ .

En la Fig. 6, se muestra el grupo de usuarios que fueron recargados satisfactoriamente cuando algunos clientes están dispuestos a posponer su proceso de recarga, es decir cuando  $w_n$  es arbitraria. Para este caso, el número de clientes satisfechos incrementa a 15, lo que muestra una ligera mejora al agregar algunos usuarios con disposición de posponer la recarga.

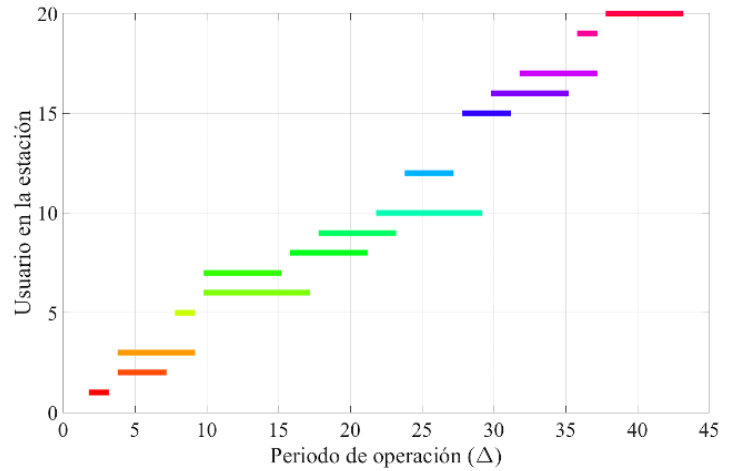


Fig. 6 Plan de recarga final con  $w_n$  arbitraria.

Posteriormente, en la Fig. 7 se muestra el grupo de clientes que fueron recargados satisfactoriamente, asumiendo que todos los clientes están dispuestos a posponer su proceso de recarga, dicho de otro modo, cuando  $w_n = 1$  para todos los clientes. Para este caso, se puede observar que los 20 clientes fueron recargados eficientemente, lo que proporciona un 100% de servicio.

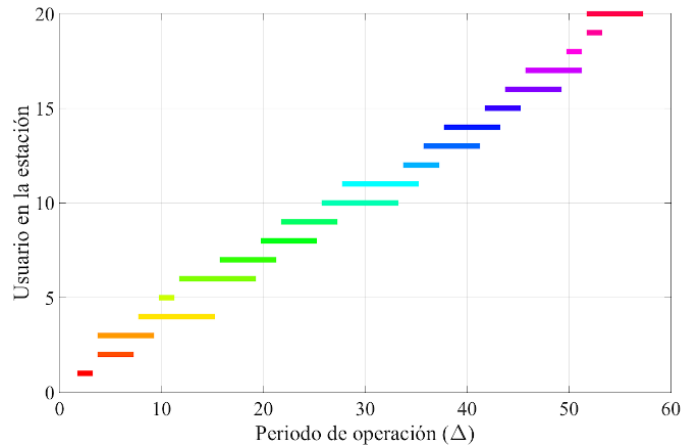


Fig. 7 Plan de recarga final con  $w_n = 1$ .

Por último, en la Fig. 8 se ilustra el tiempo total requerido por el algoritmo propuesto para obtener la solución para coordinar los procesos de recargas de baterías. En promedio, este algoritmo utiliza alrededor de  $1.3362e-04$  segundos para obtener la solución como se observa en la Fig. 8. Este resultado muestra que el algoritmo propuesto es capaz de obtener una solución satisfactoria de manera muy rápida y eficientemente.



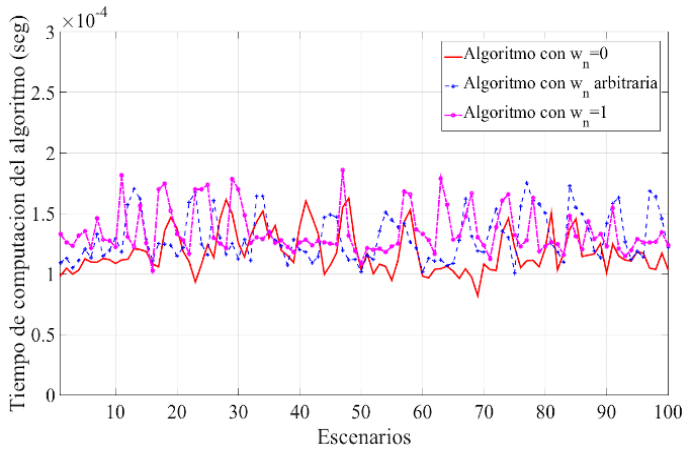


Fig. 8 Tiempo total de computación.

En resumen, el algoritmo propuesto para el sistema inteligente de recarga de teléfonos inteligentes, provee al operador un mecanismo rápido y eficaz para obtener una estrategia de recarga que no solo garantiza una mejor utilización de las conexiones de la estación de recarga, sino que también asegura un alto porcentaje de carga para todos los usuarios

#### IV. CONCLUSIÓN

En este estudio se presentó un nuevo enfoque de administración de procesos de recarga en tiempo real para estaciones de recarga de teléfonos inteligentes, con el fin de obtener el mejor plan de recarga para incrementar el número de usuarios servidos y de utilizar adecuadamente los recursos del sistema.

El algoritmo propuesto para resolver el problema planteado calcula el tiempo que requiere un cliente para recargar su dispositivo y decide cómo acomodar el proceso de recarga en tiempo real. El rendimiento de este algoritmo fue comparado con un sistema de recarga sencillo en donde los procesos de carga son aceptados y recargados secuencialmente con respecto al tiempo de llegada a la estación, solo si existe una conexión de recarga libre en el momento en que el usuario ingresa en el sistema. Los resultados de las simulaciones demostraron que el algoritmo propuesto no solo mejora el rendimiento de la estación de recarga, sino que también mejora la satisfacción de los clientes.

En este trabajo se consideró una velocidad de carga fija, asumiendo que todos los dispositivos podrían ser cargados a con la misma velocidad. Por lo tanto, debido a la gran variedad de dispositivos y tecnologías que existen en el mercado, es conveniente proponer un trabajo futuro que considere una estación de recarga con múltiples velocidades de carga que se adapte a la tecnología y necesidades del dispositivo conectado. Además, este algoritmo solo programa procesos de carga para usuarios que puedan ser cargados en un 100%. Por tanto, en trabajos futuros deben considerarse procesos de cargas parciales. Por otro lado, es importante también considerar la

utilización de técnicas de optimización para obtener el funcionamiento óptimo del sistema de recarga implementado.

#### REFERENCIAS

- [1] F. Xia, et al., "The power of smartphones," *Multimedia Systems*, vol. 21, no. 1, pp. 87-101, January 2002.
- [2] Página web Global smartphone shipments forecast 2010-2020. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/263441/global-smartphone-shipments-forecast/>
- [3] S.A. Alawnah, "Modeling Smartphones Power," M.S. thesis, CSE. Dept., American Univ. of Sharjah, Sharjah, United Arab Emirates, 2013.
- [4] R. Want, "The Power of Smartphones", *IEEE Pervasive Computing*, vol. 13, no. , pp. 76-79, July-Sept. 2014.
- [5] G. Metri, A. Agrawal, R. Peri, and W. Shi, "What is Eating Up Battery Life On My Smartphone: A Case Study," *2012 Int. Conf. Energy Aware Comput.*, pp. 1-6, Dec. 2012.
- [6] A. Abdelmotalib and Z. Wu, "Power consumption in smartphones", *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, vol. 9, no. 3, pp.161-164, May 2012.
- [7] D. Ferreira and A. K. Dey, and V. Kostakos, "Understanding human-smartphone concerns: a study of battery life," *International Conference on Pervasive Computing*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 19-33, June 2011.
- [8] A. Pathak, Y. C. Hu, and M. Zhang, "Where is the energy spent inside my app?: fine grained energy accounting on smartphones with Eprof," *Proceedings of the 7th ACM european conference on Computer Systems*, ACM, April 2012.
- [9] W. Wang, Y. Shin, D., N. Chang, and M. Pedram M., "Power conversion efficiency characterization and optimization for smartphones," *Proceedings of the 2012 ACM/IEEE international symposium on Low power electronics and design*, ACM, pp. 103-108, July 2012.
- [10] E. Cuervo, et al, "MAUI: making smartphones last longer with code offload," *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services*, ACM, pp. 49-62, June 2010.
- [11] A. Y. Ding, et al, "Enabling energy-aware collaborative mobile data offloading for smartphones," *2013 IEEE International Conference on Sensing, Communications and Networking (SECON)*, IEEE, pp. 487-495, June 2013.
- [12] A. Khairy, H. H. Ammar, and R. Bahgat. "Smartphone Energizer: Extending Smartphone's battery life with smart offloading," *2013 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, IEEE, pp. 329-336, July 2013.
- [13] N. Ravi, J. Scott, L. Han, and L. Iftode. "Context-aware battery management for mobile phones," *Pervasive Computing and Communications, 2008. PerCom 2008. Sixth Annual IEEE International Conference on*, IEEE, pp. 224-233, May 2008.
- [14] C. Xu, et al, "Boe: Context-aware global power management for mobile devices balancing battery outage and user experience," *2014 IEEE 11th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*, IEEE, pp. 300-308, October 2014.
- [15] A. Elnashar and El-Saidny, "Extending the battery life of smartphones and tablets: A practical approach to optimizing the LTE network," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 9, no. 2, pp. 38-49, May 2014.
- [16] T. Ta, Tuan, J.S. Baras, and C. Zhu, "Improving smartphone battery life utilizing device-to-device cooperative relays underlying LTE networks," *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, IEEE, pp. 5263-5268, August 2014.
- [17] T. Tirronen, A. Larmo, J. Sachs, B. Lindoff, and N. Wiberg, "Reducing energy consumption of LTE devices for machine-to-machine communication," *2012 IEEE Globecom Workshops*, IEEE, pp. 1650-1656, December 2012.
- [18] M. Siekkinen, M.A. Hoque, J. K. Nurminen, and M. Aalto, "Streaming over 3G and LTE: how to save smartphone energy in radio access network-friendly way," *Proceedings of the 5th Workshop on Mobile Video*, ACM, pp. 13-18, February 2013.
- [19] S. Deng, and H. Balakrishnan, "Traffic-aware techniques to reduce 3G/LTE wireless energy consumption," *Proceedings of the 8th*

*international conference on Emerging networking experiments and technologies*, ACM, pp. 181-192, December 2012.

- [20] M. Lauridsen, L. Noël, T.B. Sørensen, and P. Mogensen, "An empirical LTE smartphone power model with a view to energy efficiency evolution," *Intel Technology Journal*, Vol 18, no. 1, pp. 172-193, 2014.
- [21] J.B. Davis Jr., "Battery charger for charging a plurality of batteries," U.S. Patent 5,003,244, issued March 26, 1991.
- [22] C. Brake, L. Leppo, and S. Smithberger, "Multiple station charging apparatus with stored charging algorithms," U.S. Patent 5,734,253, issued March 31, 1998.
- [23] R.M. Johnson and J. P. Kiem, "Multiple battery, multiple rate battery charger," U.S. Patent 5,028,859, issued July 2, 1991.
- [24] D.C. Brotto, and W. F. Hilsher, "Battery Charger and method for simultaneously charging multiple batteries from a single power supply," U.S. Patent 5,757,163, issued May 26, 1998.