

Diseño de arquitectura para el control y monitoreo del consumo energético en hogares mediante una red de datos ZigBee^δ

Architecture Design for Controlling and Monitoring Energy Consumption in Households by Means of a ZigBee Data Network



Jonathan Alexander Soto Montoya*

Tipo de artículo: resultado de investigación

Recibido: noviembre 11 de 2015

Aceptado: mayo 14 de 2016

Resumen

La conciencia y preocupación ambiental al igual que los niveles de contaminación han venido aumentando en todo el mundo en gran proporción en la última década en comparación con los dos siglos anteriores (Zeadally *et al.*, 2011); por esta razón, se hace pertinente y urgente la ejecución de planes que contribuyan en la disminución de la contaminación. Una de las principales preocupaciones en este tema es el nivel de CO₂ en el aire, por eso en este escrito se expone el diseño de una arquitectura de alto nivel para un sistema de hardware y software que tiene el objetivo de monitorear y controlar el consumo energético en los hogares mediante una red de datos ZigBee logrando reducir la emisión de CO₂ que es un gran contribuidor al calentamiento global (Zeadally *et al.*, 2011). Dicho diseño es hecho principalmente, a partir de una breve revisión del estado del arte en este campo específico. Se descubrió que se han concebido muchos diseños de arquitectura del componente software de este tipo de sistemas y que existe una marcada tendencia de diseñar la arquitectura del hardware con tres componentes como base: elementos que interactúan con el medio ambiente, un centro de decisiones y una red que comunica a estos dos.

Palabras clave: Arquitectura de alto nivel; contaminación desde hogares; control de consumo energético; monitoreo de consumo energético; red ZigBee

Abstract

Environmental awareness and concern have notoriously increased worldwide in the last decade, as well as pollution levels, compared to the previous two centuries (Zeadally *et al.*, 2011). For this reason, the execution of plans to contribute to reducing pollution has become relevant and urgent. One of the main concerns in this issue is the CO₂ level in the air, that is why this paper introduces the design of high-level architecture for a hardware and software system, aimed at monitoring and controlling home energy consumption through a ZigBee data network. It has managed to reduce CO₂ emissions, which highly contribute to global warming. Such design is mainly made from a brief review of the state of the art in this specific field. It was found that there have been many architecture designs of software component for such systems, and that there is a clear tendency to designing hardware architecture based on three components: elements interacting with the environment, a decision center, and a network linking both.

Keywords: High-level architecture; pollution from households; energy consumption control; energy consumption monitoring; ZigBee network.

^δ Este artículo es resultado del semillero de investigación SISOFT, adscrito a la Fundación Universitaria Luis Amigó sede Medellín.

* Estudiante de Ingeniería de Sistemas. Fundación Universitaria Luis Amigó sede Medellín, FUNLAM. Grupo de investigación SISCO, GECYS y semillero de investigación SISOFT. Correo electrónico: jonathan.sotomo@amigo.edu.co.

Introducción

Actualmente se está desarrollando una conciencia ambiental; las personas hoy en día están pensando más en cómo hacer sus actividades diarias de manera que los recursos que se utilicen y el impacto ambiental sean mínimos, en las granjas se están implementando sistemas de riego inteligente para evitar el uso ineficiente del recurso hídrico sin que a las plantas les falte el mismo, en algunas ciudades el principal medio de transporte es la bicicleta y en otras, lo son vehículos que funcionan con energía renovable, los gobiernos están pensando en políticas más “verdes” y muchas otras acciones “verdes” se están llevando a cabo en todo el mundo. Para evitar que la humanidad siga siendo sinónimo de impactos negativos en el medio ambiente, generadora de devastadoras consecuencias –como la sequía por la que pasó hace poco Colombia (Lafuente, 2016) – y contrarrestar en cierta medida el daño que ha hecho se deben implementar medidas lo más pronto posible; en este escrito lo que se pretende es proponer el diseño de una arquitectura de alto nivel para controlar y monitorear el consumo energético en los nodos que son los más numerosos de esta red mundial de contaminación: el consumo en hogares. La arquitectura propuesta está basada en una red de datos ZigBee y tiene en cuenta el hardware y el software del sistema completo y la integración de los mismos.

No es erróneo creer que los mayores sectores que contribuyen a la generación de gases invernadero mundialmente son el automovilístico y el industrial (que en 2009 alcanzaron porcentajes de 14% y 16,8% del total de gases invernadero generado en el mundo respectivamente) (People’s Daily, 2009) porque al sumar el porcentaje de los dos (30,8%) superarían por mucho al sector que encabeza esta lista: las estaciones generadoras de energía (21,3%); pero, se debe tener en cuenta que en los hogares y establecimientos comerciales también se genera una importante cantidad de estos gases (10,3%), y que además para tener el porcentaje real habría que adicionar lo que se genera en las estaciones generadoras de energía al producir energía para estos lugares. Por esta generación de

gases invernadero y el alto consumo energético que se está presentando en los hogares (generando así CO₂), se hace importante concebir una estrategia que monitoree y controle el consumo energético de los hogares en tiempo real.

Con este trabajo se pretende abordar el problema de cómo diseñar una arquitectura de un sistema que monitoree el consumo energético en hogares, para de esa manera cuantificar eficazmente dicho consumo y dar a sus usuarios la posibilidad de conocer la energía que realmente están consumiendo. Este sistema además del monitoreo mediante sensores, controlaría el consumo de energía por medio de actuadores con la ayuda de la información entregada por los sensores.

El resto de este escrito está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se abordan los conceptos más importantes que se deben tener claros para un adecuado entendimiento de lo que aquí se expone; en la sección 3 se exponen algunos de los trabajos que se han hecho referentes a este tema; en la siguiente sección, la número 4 se habla de la metodología usada; en la sección 5 es donde se explica el diseño de la arquitectura de alto nivel resultante, tanto en la parte de hardware como en la de software; y finalmente, en la sección 6 se exponen las conclusiones derivadas de este trabajo y los trabajos futuros.

Metodología

El tipo de investigación usado en este trabajo es una investigación aplicada al diseño de una arquitectura de alto nivel de un sistema que permitiría el ahorro energético en hogares. Para esta investigación se siguieron tres etapas; primero, se evaluó el estado del arte sobre sistemas de monitoreo y control de consumo energético para conceptualizar los casos que se han registrado en el área, en esta etapa se recolectaron papers, libros, artículos web, y páginas web de bibliotecas digitales, Internet y bases de datos electrónicas como IEEE y EBSCOHOST. En la segunda etapa, se diseñó la parte de hardware de la arquitectura; y finalmente, en la tercera etapa se diseñó la parte

de software que está en la capa de aplicación de la arquitectura.

Referente teórico

Arquitectura de software: Es un concepto que denota las estructuras de alto nivel de un sistema de software, y las relaciones entre estas estructuras que debe existir para que el sistema de software exista. Para una mejor comprensión de este concepto, se usan tres vistas: la vista conceptual, la vista lógica y la vista de ejecución; de las cuales se detalla más en (Malan y Bredemeyer, 2002).

Software. Consiste en diversos programas independientes, archivos de configuración que se utilizan para ejecutar estos programas, un sistema de documentación que describe la estructura del sistema, la documentación para el usuario que explica cómo utilizar el sistema y sitios web que permiten a los usuarios descargar la información de productos recientes (Sommerville, 2005, 5-6).

Hardware. El hardware es un concepto que se refiere a componentes físicos o periféricos de entrada o salida (incluyendo sus circuitos digitales) comúnmente de una computadora (Central Board of Secondary Education, 2009), pero también de robots, celulares, televisores, redes, entre otros.

ZigBee. Es el nombre dado a un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, ideal para redes en hogares (ZigBee Alliance, 2014). Estos protocolos están basados en el estándar IEEE 802.15.4 (IEEE 2014) de redes inalámbricas de área personal o WPAN por sus siglas en inglés *Wireless Personal Area Network*.

Red de datos. “Una red de datos es un sistema que enlaza dos o más puntos (terminales) por un medio físico, el cual sirve para enviar o recibir un determinado flujo de información” (Universidad del Azuay, 2009).

Antecedentes

En Bocheng (2012) se diseña e implementa un sistema de monitoreo de consumo eléctrico, de

gas, agua y carbón para edificios de una forma “granulada” que permite la medición de pequeños puntos de consumo. Esta información es utilizada para estimar futuros consumos y para comparar con los pasados; además, permite hacer análisis estadísticos y dar datos reales para que los científicos puedan determinar qué parte específica del sistema deben abordar para reducir el consumo energético y la reducción de emisión de gases.

También en Golzar and Tajozakerin (2010) se explica la implementación de un sistema dividido en dos partes: software y hardware que está constantemente verificando (mediante sensores) si es necesario el uso de ciertos electrodomésticos (llamados actuadores). Toda la información y el software están almacenados en un servidor web en el hogar, por lo que puede accederse con una contraseña previamente definida desde cualquier parte del mundo con una conexión a internet. Con el software desde el servidor, el panel de control físico (el subsistema de hardware) u otro dispositivo conectado al servidor se pueden realizar cambios al estado de los actuadores; es decir, pueden ser apagados o encendidos según sea deseado.

Otra buena propuesta es expuesta en (Yongpan *et al.*, 2009); Ahí se desarrolla un sistema de monitoreo de consumo de energía, agua y calidad de las mismas, principalmente orientado a edificaciones públicas en China. El sistema es subdividido en dos partes: hardware y software, y cada uno a su vez se subdivide en diferentes capas. El subsistema de hardware es dividido en tres capas: la capa del centro de información, que es donde se encuentran tres servidores, uno para la recolección de los datos del consumo y calidad de la energía, otro para el análisis de los mismos y otro que está lógicamente entre estos dos; además, esta capa cuenta con un alimentador de energía de respaldo suficiente para mantener el sistema funcionando durante un período de 2 horas. La segunda, es la capa de conexión que conecta a la capa del centro de información con la capa de construcción que es en la que están los sensores necesarios para medir el consumo y calidad energética y de agua. El subsistema de Software

está también dividido en tres capas; en la primera, llamada capa de representación que se encarga del manejo de interfaces gráficas y todo lo relacionado con lo que el usuario ve e interactúa; la segunda capa, la de aplicación es donde se hacen todos los

cálculos y procesos lógicos; y por último, la capa de persistencia que es donde están y se administran las bases de datos con datos de la configuración y consumo de energía. Estos subsistemas están resumidos gráficamente en las Figuras 1 y 2.

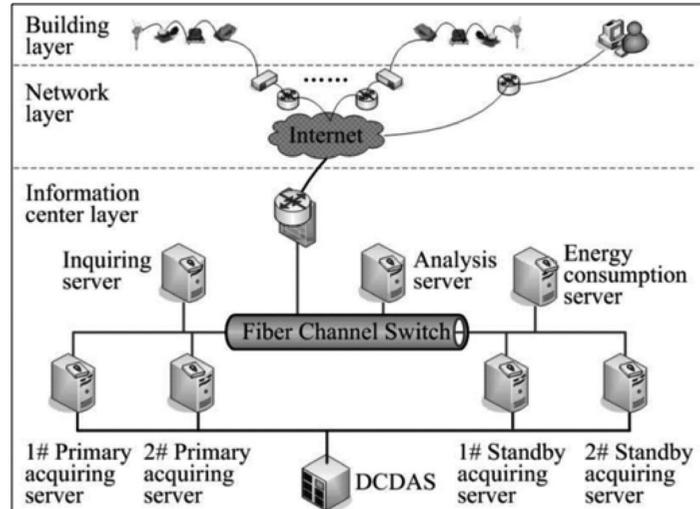


Figura 1. Arquitectura del subsistema de hardware
Fuente: Yongpan *et al.*, (2009)

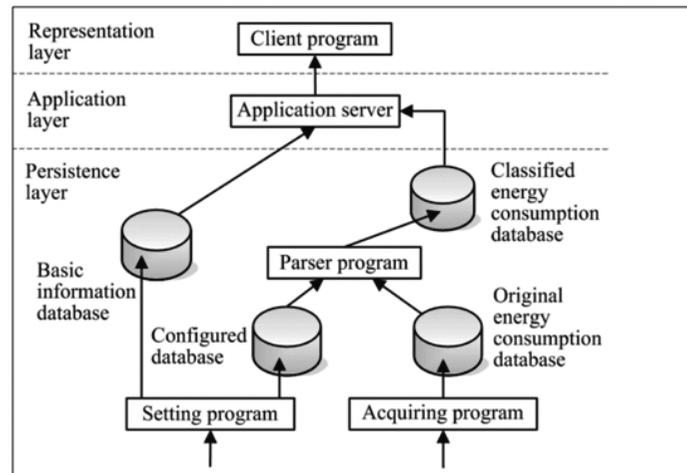


Figura 2. Arquitectura del subsistema de software
Fuente: Yongpan *et al.*, (2009)

Algunos autores también han realizado simulaciones del posible consumo de energía y el posible ahorro del mismo a diferentes escalas; por ejemplo, en (Zachhuber *et al.*, 2008) se hace a escala de una ciudad. Primero, se propone un *framework* desarrollado en Java que trabaja de forma implícita; es decir, con los sensores que tiene a disposición, determina qué es lo que está haciendo o están haciendo los usuarios de un

hogar u oficina para determinar el estado en que deben estar cada uno de los dispositivos que consumen energía (poniendo siempre como la máxima prioridad las órdenes del usuario). Este *framework* está orientado a los usuarios finales de consumo de la energía –como hogares y oficinas– y a los proveedores de energía y busca disminuir el consumo de energía estudiando y tomando los patrones de comportamiento de los

consumidores del lugar en el que se encuentra instalado. Lo que hace que a medida que se usa el sistema, las predicciones de consumo serán más eficientes. Este *framework* también ayuda a ahorrar dinero porque además del ahorro por la disminución en el consumo de energía eléctrica, también se incorpora la variable del precio en su algoritmo y su valor es calculado en tiempo real para determinar el costo final de energía en cada momento; por esto, también se propone que haya una comunicación bidireccional entre el proveedor de energía y el consumidor para tener estos datos a disposición del sistema en cualquier momento que sea necesario. Después, con ayuda del *framework*

se hace una simulación de un año del consumo de la energía a escala de una ciudad y se toman datos de los hogares y oficinas típicas (en la ciudad de Linz, Austria) como su porcentaje con respecto a todas las edificaciones, su promedio de consumo en el año y lo que se podría ahorrar en cada caso. Finalmente, de dicha simulación se concluye que se puede ahorrar entre 10,5% y 19,3% de energía en el año en la ciudad dependiendo del alcance de la tecnología y la definición del nivel de confortabilidad del usuario con respecto a la manera de reducir el consumo. Los resultados de la simulación desarrollada en este trabajo están representados gráficamente en la Figura 3.

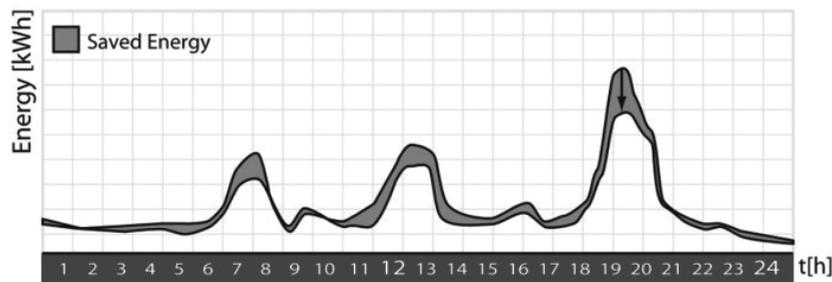


Figura 3. Simulación de consumo y ahorro de energía a escala de ciudad.

Fuente: Zachhuber *et al.*, (2008)

Finalmente, en (Lee *et al.*, 2009) se expone un *framework* para el ahorro de energía que clasifica los electrodomésticos por categorías y pueden ser monitoreados individualmente; además cuenta

con un sistema *Plug and Play* para hacer más fácil el acople de los electrodomésticos con el sistema. La arquitectura que se desarrolla está sintetizada en la Figura 4.

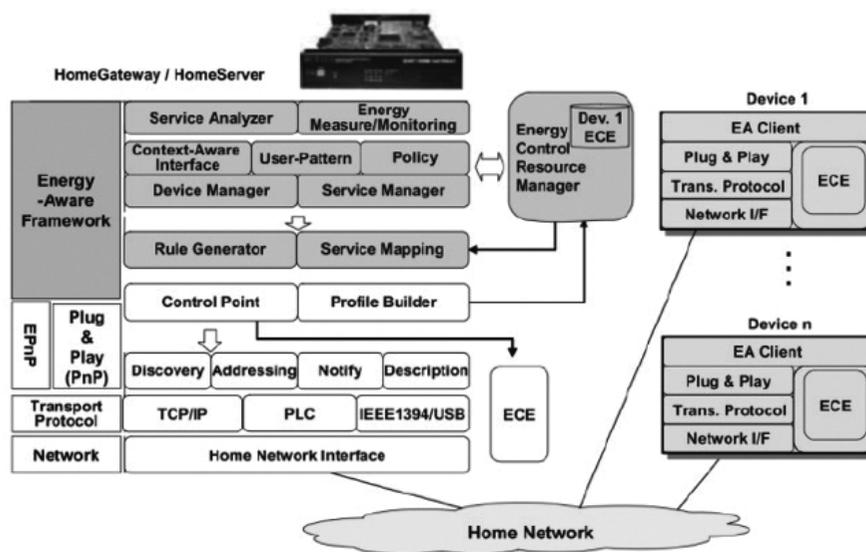


Figura 4. Arquitectura propuesta para la gestión de energía

Fuente: Lee *et al.*, (2009).

Resultados

El modelo conceptual del sistema propuesto está dividido en dos partes principales: hardware y software.

1. Hardware

La arquitectura propuesta para el subsistema de hardware es una divida entres capas; explicadas a continuación:

Capa sensitiva

- La primera, denominada capa sensitiva es dónde estarán los sensores que se utilizarán para medir o captar datos del mundo físico y entregárselos a la segunda capa para posteriormente ser procesados. Estos sensores estarán en la capacidad de medir y transmitir datos del mundo real y de los mismos sensores como: la temperatura del ambiente, consumo energético en función del tiempo de ciertos dispositivos eléctricos, cantidad de dispositivos eléctricos actualmente conectados, cantidad de personas en un área específica, luz del ambiente, entre otros. En esta capa, además estarán presentes unos dispositivos electrónicos denominados actuadores que tendrán la función de ejecutar determinadas acciones en el sistema eléctrico; por ejemplo, interrumpir la corriente eléctrica a cierta habitación o electrodoméstico específico del hogar.

Capa de conexión

- Esta capa es la que transmitirá datos de la capa sensitiva a la capa de aplicación; en otras palabras, los datos que los sensores retornan serán entregados a la capa de conexión y esta se los entregará al servidor que estará en la capa de aplicación. Esta capa hará la misma tarea en sentido contrario con la diferencia de que los datos que serán transportados serán las instrucciones de parte del servidor a los actuadores; es decir, entregará datos que sean enviados desde la capa de aplicación a la capa sensitiva

específicamente a los actuadores, como un mensaje de apagado, encendido o regulación de algún dispositivo.

Capa de aplicación

- La capa de aplicación será la única con la que el usuario final tendrá que entenderse. En esta capa habrá una tableta a la que llegarán los datos de la capa sensitiva por medio de la capa de conexión; y que además hará las veces de servidor teniendo siempre disponible en red el panel de control de la aplicación y la información ya mencionada para su consumo desde un dispositivo externo. Con este dispositivo actuando como servidor, se hace posible que con una contraseña previamente definida, él o los habitantes del hogar puedan ver el consumo en tiempo real desde cualquier parte del mundo con una conexión a internet; y además pueden potenciar el ahorro energético al tener control total estando fuera, así por ejemplo un integrante del hogar puede desde su oficina dar órdenes de apagar todo, excepto ciertos electrodomésticos (como la nevera) o encender algún electrodoméstico antes salir hacia el hogar, como un calentador de agua o un calentador de temperatura y así evitar dejarlo prendido todo el tiempo, desde que se deja el hogar hasta que se regresa de la oficina; lo que significaría un ahorro energético diario considerable.

La representación gráfica del hardware del sistema se puede apreciar en la Figura 5.

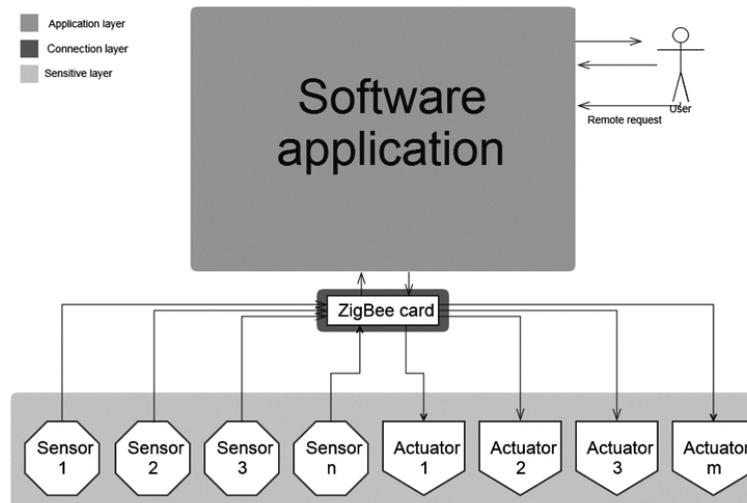


Figura 5. Arquitectura de hardware propuesta
Fuente: elaboración propia (2015)

Crterios para la seleccin de ZigBee

A pesar de que el objetivo principal de este escrito es exponer una arquitectura de alto nivel para el monitoreo y control del consumo energtico, en la capa de conexin se ha definido el uso de ZigBee como el protocolo de comunicacin debido a que sus caractersticas lo hacen el ideal para el caso especfico que dicha arquitectura quiere abordar. En esta seccin se expondrn las razones especficas por las que este protocolo fue elegido sobre otros con similares caractersticas.

El protocolo de comunicacin de rea personal ms usado en el mundo actualmente es el *Bluetooth* (Andersson 2014) y como tal, se podra pensar que es una fuerte alternativa para usarse en redes domsticas como la expuesta aqu. Sin embargo, el consumo de energa de esta tecnologa es muy alto para utilizarlo como el mtodo de conexin de una red que estara activa cerca de 24 horas al da (Link-Labs 2015). Existe dentro del estandar de *Bluetooth* una variante llamada *Bluetooth Low Energy*, BLE, que utiliza mucho menos energa, pero su rango de alcance es tres veces menos que el proveido por el estandar ZigBee, y poco para asegurar una comunicacin confiable entre los nodos de la red (Link-Labs 2015). Existe otro protocolo para redes de rea personal llamado *Symphony* que ofrece un mayor rango que ZigBee, pero no sigue un estandar especfico, lo que hara

que exista un obstculo ms en el desarrollo de este tipo de redes con este protocolo.

A pesar de que ZigBee es el protocolo ideal para este tipo de red, cualquiera de los protocolos para redes de rea personal puede reemplazarlo en la arquitectura expuesta sin cambios en los conceptos. Esto solo implicara cambios en su implementacin y siempre que se hagan estos cambios, deben ser tenidos en cuenta el rango de alcance y el consumo energtico principalmente.

2. Software

El subsistema de software estar presente en la capa de aplicacin, para este, se plantea la utilizacin de una arquitectura Modelo Vista Controlador o MVC, abordada en (Mahemoff & Johnston, 1999) y comparada en (Hussey *et al.*, 1996) con la arquitectura PAC: Presentacin, abstraccin y control. Estos patrones arquitectnicos fueron seleccionados debido a que separan las responsabilidades del software virtualmente de manera que hace las modificaciones ms fciles de implementar. La arquitectura del software del sistema se puede ver en la Figura 6.

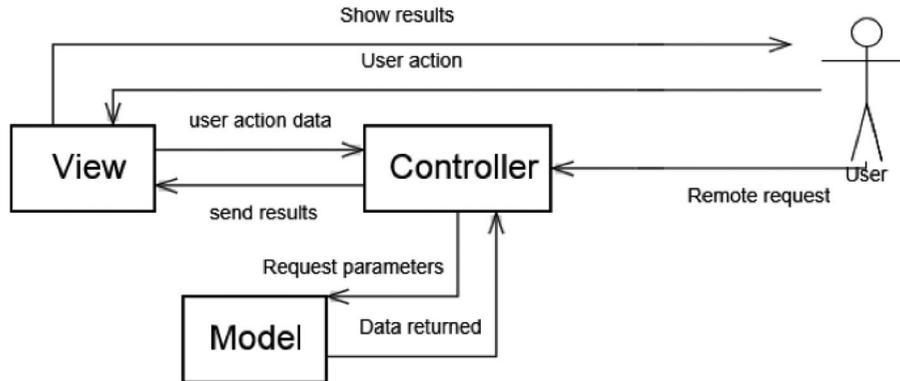


Figura 6. Arquitectura propuesta del software
Fuente: elaboración propia (2015)

Un resumen gráfico completo a alto nivel de la arquitectura propuesta se encuentra expresado en la Figura 7.

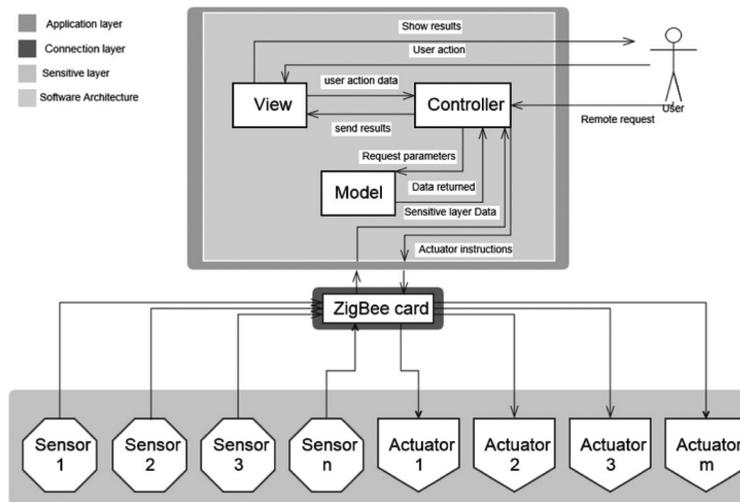


Figura 7. Arquitectura global propuesta modelada a alto nivel
Fuente: elaboración propia (2015)

Conclusiones

En este trabajo se describió de forma concisa trabajos anteriores que trataron sobre diseños, desarrollos, implementaciones y simulaciones de sistemas de monitoreo y control del consumo energético mediante redes de datos. Además, se diseñó una arquitectura de alto nivel para el control y monitoreo de consumo energético en hogares mediante una red de datos ZigBee; esta arquitectura, está lo suficientemente desarrollada para llevarla a la siguiente fase: desarrollo. Se encontró que, en el diseño de arquitecturas de alto nivel para este tipo de problemas, la tendencia en cuanto al hardware es la división del problema en tres componentes principales: componentes que interactúan con el

exterior (generalmente sensores y actuadores), un equipo de cómputo que hace las veces de centro de decisión y una red que comunique a estos dos. Por otro lado, el diseño de la arquitectura del software; sobre todo en el centro de decisión; no tiene una marcada tendencia y se han concebido actualmente muchas maneras de alcanzar el objetivo de dicho componente.

Como trabajos futuros, se pretende implementar un sistema de control y monitoreo de consumo energético para un hogar a partir de la arquitectura diseñada y aquí expuesta. Otro trabajo futuro podría ser el análisis y ajustes de la arquitectura diseñada, pero con un enfoque hacia un entorno más corporativo.

Referencias

- Zeadally S., Khan S. & Chilamkurti N. (2011). "Energy-efficient networking: past, present, and future." *2011 Springer Science+Business Media, LLC*.
- Lafuente, J. (2016). La peor sequía en casi dos décadas sacude a Colombia. *El País*. Recuperado de http://internacional.elpais.com/internacional/2016/01/11/colombia/1452545517_823579.html
- Bocheng, Z. (2012). Design of Building Energy Monitoring and Management System. *Second International Conference on Business Computing and Global Informatization*: 645–48. Conferencia llevado a cabo en la BCGin, Shanghai, China. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6382615>
- Central Board of Secondary Education. (2009). "Computer Hardware." 1-20.
- Golzar, M. & Hamid R. (2010). A New Intelligent Remote Control System for Home Automation and Reduce Energy Consumption. *Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation (AMS), 2010 Fourth Asia International Conference on*, 174-80. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5489628>
- Hussey, A. & Carrington, D. (1996). BCS-FACS Workshop on Formal Aspects of the Human Computer Interface Using Object-Z to Compare the MVC and PAC. *Electronic Workshops in Computing*, 2, 1-17.
- Andersson T. (2014). Bluetooth Low Energy and Smartphones for Proximity-Based Automatic Door Locks. *Linköpings universitet*. Recuperado de <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:723899/FULLTEXT01.pdf>
- Link-Labs. (2015). ZigBee Vs. Bluetooth: A Use Case With Range Calculations. *Link-Labs*. Recuperado de <http://www.link-labs.com/zigbee-vs-bluetooth/>
- IEEE. (2014). IEEE 802.15 WPAN™. Recuperado de <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- Lee, J, Jung-Tae K., Eui-Hyun P., Intark, H. & Kwang-Roh P. (2009). Design and Implementation of a Service Oriented Power Saving System for the Home Network. *Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics*, 1-2. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5012334>.
- Mahemoff, M.J., & L.J. Johnston. (1999). Handling Multiple Domain Objects with Model-View-Controller. *Proceedings Technology of Object-Oriented Languages and Systems. TOOLS 32*, 28-39. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=809412>.
- People's Daily. (2009). Cause and Effect for Global Warming. *People's Daily online*. Recuperado de <http://english.people.com.cn/90002/98666/99044/6830157.html>
- Malan, R. & Bredemeyer, D. (2002). Software Architecture: Central Concerns, Key Decisions. *Bredemeyer Consulting*, 1-14.
- Sommerville, I. (2005). Ingeniería Del Software. *Séptima ed. eds. Miguel Martín-Romo and Marta Caicoya*. Madrid, España: Pearson Educación S.A.
- Universidad del Azuay. (2009). Redes de datos lan. 1. Universidad del Azuay: Ecuador.
- Chen Y. Mu Xianmin Mu X, Zhang J. & Zhen L. (2009). Development of Monitoring System of Building Energy Consumption. *International Forum on Computer Science-Technology and Applications* (2), 363.66. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5384636>
- Zachhuber, D., Doppler, J., Ferscha, A. Klein, C. & Mitic. J. (2008). Simulating the Potential Savings of Implicit Energy Management on a City Scale. *12th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications* (1), 207-16. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4700122>
- ZigBee Alliance. (2014). *ZigBee Alliance Official Website*. Recuperado de <http://zigbee.org/>.



Lantana cámara / Autor: Diego Alonso Rivera Vergara