

Tipo de artículo: Artículo original

Simulación de un Sistema de Monitoreo, Control y Automatización de la Gestión Energética para la Ciudad de Valledupar

Simulation of a Monitoring, Control and Automation System for Energy Management for the City of Valledupar

Juan Guillermo Duran Noble ^{1*}  <https://orcid.org/0000-0003-3500-4397>

Edinson de Jesús Medina Martínez ²  <https://orcid.org/0000-0001-7028-5513>

Adith Bismarck Pérez Orozco ³  <https://orcid.org/0000-0002-2149-1625>

Maria Angelica Galvis Cuadrado ⁴  <https://orcid.org/0000-0001-6274-7888>

¹ Departamento de Ingeniería de Sistemas. Universidad Popular del Cesar. Colombia. Correo: ing.duranjuan@hotmail.com

² Departamento de Ingeniería de Sistemas. Universidad Popular del Cesar. Colombia. Correo: edejesusmedina@hotmail.com

³ Departamento de Ingeniería de Sistemas. Universidad Popular del Cesar. Colombia. Correo: adithperez@unicesar.edu.co

⁴ Departamento de derecho, ciencias políticas y sociales. Universidad Popular del Cesar. Colombia.
mariangelicagalvis2@gmail.com

* Autor para correspondencia: adithperez@unicesar.edu.co

Resumen

En este artículo se realiza un sistema que permite controlar, monitorear y automatizar la gestión energética y los diferentes dispositivos que conforman el alumbrado público de la ciudad de Valledupar, es decir, las luminarias, la red eléctrica y los diferentes eventos que ocurren en el día, basándose en el concepto de SmartGrid en el cual se aplica a las SmartCity. El desarrollo de esta simulación se utilizó la plataforma web, en este caso con el lenguaje JAVA (JSP, SERVLET), además se integró el framework de JADE para la utilización de los agentes inteligentes, la API de GOOGLE MAPS, para la geo-referenciación de las luminarias del alumbrado público. Para los eventos aleatorios que pueden ocurrir en el tiempo de la simulación se utilizó la campana de Gauss para calcular estos valores aleatorios. Los datos resultantes de esta simulación se guardan en una base de datos MYSQL para poder procesar, tabular y graficar estos resultados.

Palabras clave: Simulación; Control; Automatización; Monitoreo; SmartGrid; SmartCity; JADE; Gestión Energética.

Abstract

In this paper a system to control, monitor and automate energy management and the various devices that make up the public lighting of the city of Valledupar, ie, the lights, the electricity grid and the different events that occur in is done day based on the concept of SmartGrid in which it applies to SmartCity. The development of this simulation web platform was used, in this case with language JAVA (JSP, Servlet) plus the framework JADE for the use of intelligent agents, API GOOGLE MAPS, for geo-referencing integrated of street lighting luminaires, in addition to random events that can occur in simulation time the bell curve was used to calculate these random values. The data resulting from this simulation stored in a MYSQL database to process, tabular and graph the results.

Keywords: Simulation; Control; Automation; Monitoring; SmartGrid; SmartCity; JADE; Energy Management



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

Recibido: 10/09/2022
Aceptado: 28/11/2022
En línea: 01/12/2022

Introducción

En el mundo crece el interés por desarrollar políticas y regulaciones que incentiven la creación de conciencia social respecto a los gases causantes del efecto invernadero. Muchos gobiernos quieren, reducir su dependencia de los combustibles fósiles. Las tecnologías denominadas SmartGrid (Redes Inteligentes), podrían apoyar estos propósitos al disminuir las emisiones de carbono mediante la gestión de la demanda de energía eléctrica (Vega et al., 2015). Además del beneficio medio ambiental, su implementación mejora la eficiencia de las redes de transmisión, distribución energética y permite la integración de fuentes de energía renovable distribuidas (De Wilde et al., 2013). Por otro lado, la estructura del alumbrado público de algunas ciudades no cumple con las necesidades de sus habitantes, esto principalmente por no contar con los dispositivos en óptimas condiciones. En este contexto, surgen conceptos como el de SmartCity (Okai et al., 2018), las cuales son ciudades que gestionan sus servicios con ayuda de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), mediante SmartGrid (Mets et al., 2014). Es necesario mencionar lo costoso que puede ser implementar conceptos novedosos como los anteriores, sin embargo, procesos como el de la simulación aparece como alternativa en el sentido de imitar procedimientos reales en un entorno virtual y controlado para llevar experimentos o pruebas sin general ningún daño que cause pérdida de recursos (Forcan & Maksimović, 2020).

Al respecto la simulación de una SmartGrid que gestione el consumo, el control y la automatización arrojaría en sus resultados información importante para la implementación de esta (Ock et al., 2016). La idea de este artículo es hacer una breve descripción del desarrollo de una simulación de un sistema de monitoreo, control y automatización de la gestión energética para la ciudad de Valledupar abarcando aspectos importantes como la metodología la cual se basó en el marco de desarrollo de simulación del autor (Bú, 1994).

Materiales y métodos

La simulación tiene como base una SmartGrid, donde están incorporados los controles, mediciones y alertas de los elementos de la red eléctrica que conforma el alumbrado público de la ciudad de Valledupar. Las SmartGrid no solo buscan la eficiencia en la distribución eléctrica si no también puede integrarse con otros servicios públicos lo cual conlleva al surgimiento de una SmartCity (Vogt et al., 2018). El proyecto utilizará las SmartGrid para la gestión eficiente de la red eléctrica que conforma el alumbrado público de la ciudad de Valledupar enfocado en las Avenida



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

Simón Bolívar y Avenida Fundación. En la Figura 1 se ve reflejado de color amarillo los tramos de las avenidas que van a ser parte del objeto de estudio de la simulación.

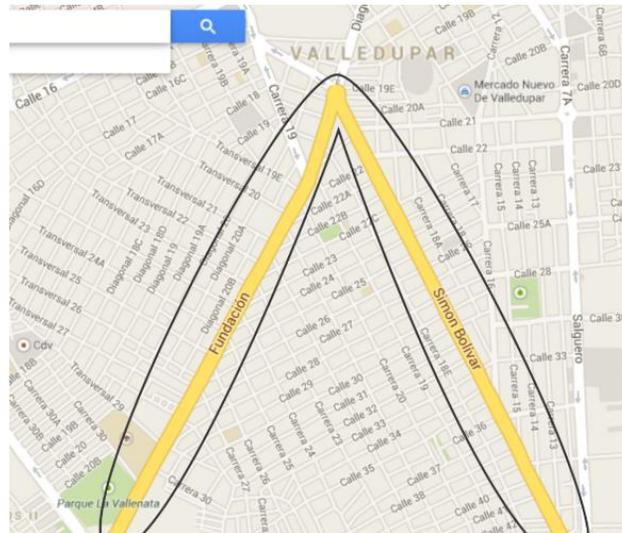


Figura 1. Delimitación Espacial.

El sistema se desarrolló con un enfoque práctico, fácil y ágil para su manejo. Se optó por la plataforma web porque esta solo necesita un navegador para el funcionamiento (Pallonetto et al., 2019); no es necesario instalar ningún programa o complemento o extensión o plugins externo. El software utiliza dos métodos o mecanismos para su funcionamiento.

El primer método se utiliza en la elaboración de los diferentes eventos aleatorios que ocurren en la red eléctrica, no se sabe con certeza cuando pueda ocurrir uno de los cuatro (4) eventos en la red eléctrica, ya sea un evento de subida, bajada de tensión o falta de esta, por lo tanto se desarrolló un modelo matemático para la creación de estos eventos, basados en la distribución normal Gaussiana o campana de Gauss, en los cuales se generan números aleatorios, dependiendo del porcentaje de probabilidad de cada evento los cuales fueron ingresados por el usuario al momento de crear una red eléctrica. Los diferentes eventos que se pueden presentar en este componente del alumbrado son:

- **Subida de tensión o Pico (Swell):** Indica que el voltaje de la corriente se encuentra por encima de lo normal.
- **Bajada de tensión o hundimiento (Sag):** Indica que el voltaje de la corriente se encuentra por debajo de lo normal.
- **Condición Normal:** Hace referencia que el voltaje se mantiene constante en el rango de lo normal.
- **Falla:** Hace referencia a la caída completamente de la corriente eléctrica.



Todos los anteriores eventos se manejan en el framework de JADE, es decir, los agentes inteligentes tipo reactivos simples son los que realizan estos algoritmos y generan la respuesta pertinente (Ahmad et al., 2015). Cabe recalcar que estos eventos se generan uno al día e independientemente de cada red eléctrica que se está simulando.

El segundo método se utiliza en la elaboración de los diferentes eventos que pueden ocurrir en las luminarias este basó en el mismo proceso matemático en el cual se desarrolló las redes eléctricas, en este caso solo se ejecuta uno (1) de los tres (3) eventos posibles del alumbrado. Además se dispone de un (1) evento que no se genera por este método matemático si no por un cálculo de tiempo, el cual hace referencia a la vida útil en horas de las luminarias. Los diferentes eventos que se pueden presentar en este componente del alumbrado son:

- **Anomalía Externa:** Hace referencia a cualquier suceso generado por el exterior (el entorno) que pueda causar un mal funcionamiento de la luminaria. Ejemplo: daño por los habitantes, caída del poste, robo de línea, entre otras.
- **Anomalía Interna:** Hace referencia a cualquier suceso generado en el interior de la luminaria que pueda causar un mal funcionamiento de la luminaria. Ejemplo: defecto de fábrica, mal funcionamiento de un componente interno, mala instalación, entre otras.
- **Condición Normal:** Hace referencia al buen funcionamiento de la luminaria.
- **Vida Útil.** Nos indica que la luminaria ya culminó su vida útil y que en algún momento esta puede generar un mal funcionamiento.

Funcionamiento

La simulación utiliza una sección de la red del alumbrado público de la ciudad que corresponden a las avenidas anteriormente mencionadas; pero el sistema está diseñado para añadir nuevos elementos que se consideren necesarios sean luces, vías, entre otras. El sistema presenta unos indicadores de gestión, los cuales muestran los comportamientos y los estados de los elementos en diferentes situaciones que serán útiles para la toma de decisiones. Estos indicadores están representados por colores que informan el estado de los elementos, y los comportamientos entre estos estados (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores de Gestión el trabajo

Símbolo	Significado	Descripción
	Anomalía Externa	Indica que la luminaria ha sufrido una avería producida por algún evento o persona externa al sistema. La luminaria en este estado no funciona correctamente y no consume energía.
	Anomalía Interna	Indica que la luminaria ha sufrido una avería interna, ya sea por defecto de fábrica, mala instalación de esta, entre otras. La luminaria en este estado no funciona correctamente y no



		consume energía.
	Encendido	Indica que la luminaria está funcionando sin ningún problema.
	Encendido bajada de tensión	Indica que la luminaria está funcionando sin ningún problema, pero la red eléctrica ha sufrido una bajada de tensión por debajo de lo establecido.
	Encendido subida de tensión	Indica que la luminaria está funcionando sin ningún problema, pero la red eléctrica ha sufrido una subida de tensión por debajo de lo establecido.
	Apagada	La luminaria en este estado no se encuentra en funcionamiento por que se encuentra apagada y no consume energía.
	Sin energía	La luminaria en este estado, no se encuentra encendido, si no apagada por que no recibe corriente eléctrica por parte de la red eléctrica.
	Vida útil	Indica que la luminaria en este estado está funcionando correctamente pero actualmente ya cumplió su vida útil en el sistema que a largo plazo o corto, puede presentar un problema mayor y dejar de funcionar.

El sistema permite que el usuario defina las diferentes variables que se van a simular, es decir, el usuario decide qué red eléctrica va a trabajar, cuáles luminarias utilizarán toda su potencia o un valor menor de esta y los diferentes horarios de encendido y apagado del alumbrado público. El sistema por defecto trae predeterminado tres (3) redes eléctricas la Avenida Simón Bolívar, la Avenida Fundación y la red eléctrica principal a la cual dependen las dos anteriores, además las primeras avenidas contienen 164 luminarias y 181 luminarias respectivamente las cuales trabajan a 250 watts de potencia. La variable tiempo dentro de la simulación es la base de toda la simulación, porque sin esta no se conocería desde que día va a empezar a simulación hasta que día terminará, por eso en este sistema de trabajo como una equivalencia de tiempo, es decir, un segundo (1sg) en la simulación corresponde a una hora (1h) en la mundo real, es decir, 24 s corresponden a 24 horas (1 día) en el mundo real, por lo tanto, simular un (1) año llevaría aproximadamente 2 horas y media.

Resultados y discusión

Se realizó una simulación con los datos que el sistema provee por defecto, es decir, se trabajó con las 164 luminarias de la Avenida Simón Bolívar y las 181 luminarias de la Avenida Fundación. Además, las luminarias de la avenida fundación, trabajaron con 100 Watts de potencia, en cambio las luminarias de la Avenida Simón Bolívar trabajaron con su valor por defecto que es 250 Watts. Los porcentajes de ocurrencia de los eventos en las redes eléctricas, un 5%



para subida de voltaje, 5% para bajada de voltaje, 85% para condición normal y 5% para falla de la red, además, los porcentajes de ocurrencia de los eventos de las luminarias con un 5% en anomalía externa, 5% en anomalía interna y un 90% en la condición normal.

Al finalizar la simulación la avenida Fundación obtuvo un consumo promedio al día de 130.9 Kwh con respecto a la avenida Simón Bolívar con un consumo promedio al día de 472.0 Kwh, durante los 28 días de simulación. Estos datos se pueden apreciar en la Figura 2, la cual relaciona los valores resultantes que se generaron para las redes eléctricas, en el rango del tiempo estimado. Se puede observar q en el día 1 y 14 hubo una bajada de tensión eléctrica aproximadamente de 210 V. En el día 17 se presentó una nulidad en la red eléctrica de la avenida Fundación.

En la Figura 3 se puede apreciar la cantidad de luces que fueron afectadas por los diferentes eventos que ocurren dentro de la simulación que en total son 7 eventos ya sean de las luminarias o de la red eléctrica. Un dato muy importante, es que los datos en la gráfica de Tensión Vs Tiempo se deben ver reflejados en esta gráfica y viceversa, es decir se puede apreciar en la gráfica Tensión Vs Tiempo que el día 1 y el 14 una subida de tensión, por lo tanto la gráfica Luminaria Vs Tiempo debe mostrar que en estos días una considerable cantidad de luminarias funcionaron con la tensión eléctrica alta, esta condición se cumple, ya que el día 1 y el 14 se observa en la anterior gráfica se observa la subida de tensión, además se observa que el día 17 hubo una nulidad en la red eléctrica.

En la Figura 4 se pueden observar los diferentes valores de consumo de energía de cada red eléctrica durante el periodo de tiempo establecido en la simulación. Cabe aclarar que el único evento de red que se ve reflejado en esta gráfica es el de la nulidad de la red eléctrica, como se puede apreciar el día 17 en la red eléctrica de la avenida fundación ocurrió este evento de nulidad, por lo tanto este día esta red no consumió energía.

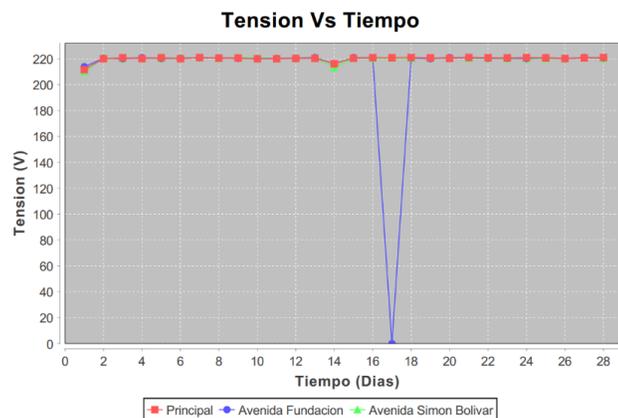


Figura 2. Tensión Vs Tiempo



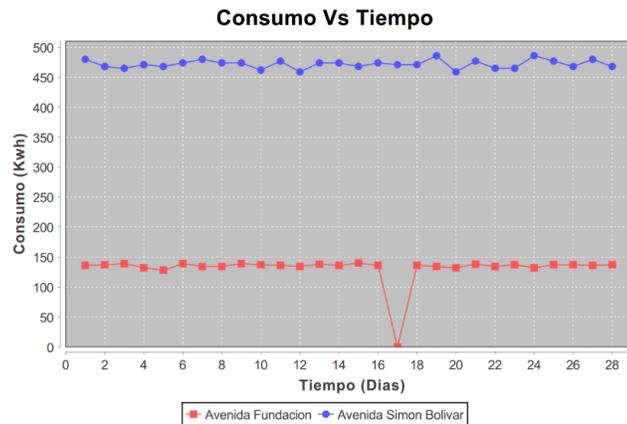


Figura 4. Consumo Vs Tiempo

Conclusiones

Se concluye de forma general que se logra desarrollar un simulador de un sistema de gestión del alumbrado público de la ciudad de Valledupar. De manera específica se concluye que se demuestra una descripción del consumo de esta ciudad, así como de crear una estructura lógica de los elementos que interactúan en el sistema. Además se pueden generar varios escenarios para verificar el funcionamiento del sistema, basado en los parámetros establecidos para la simulación de estos escenarios.

Conflictos de intereses

Los autores no presentan conflicto de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Adith Perez
2. Curación de datos: Edinson Medina, Juan Duran
3. Análisis formal: Adith Perez
4. Adquisición de fondos: Edinson Medina, Juan Duran
5. Investigación: Edinson Medina, Juan Duran, Adith Perez.
6. Metodología: Adith Perez
7. Administración del proyecto: Edinson Medina
8. Recursos: Edinson Medina, Juan Duran



9. Software: Edinson Medina, Juan Duran
10. Supervisión: Adith Perez
11. Validación: Adith Perez
12. Visualización: Juan Duran
13. Redacción – borrador original: Edinson Medina, Juan Duran
14. Redacción – revisión y edición: Edinson Medina, Juan Duran, Adith Perez, Maria Galvis

Referencias

- Ahmad, I., Kazmi, J. H., Shahzad, M., Palensky, P., & Gawlik, W. (2015). Co-simulation framework based on power system, AI and communication tools for evaluating smart grid applications. 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT ASIA),
- Bú, R. C. (1994). *Simulación: un enfoque práctico*. Editorial Limusa.
<https://www.google.com/books?hl=es&lr=&id=iY6dI3E0FNUC&oi=fnd&pg=PA11&dq=Simulaci%C3%B3n:+un+enfoque+pr%C3%A1ctico&ots=uLTd6d5L7C&sig=ImYA89geALB-dqw7xEE6OkgyL9U>
- De Wilde, P., Martinez-Ortiz, C., Pearson, D., Beynon, I., Beck, M., & Barlow, N. (2013). Building simulation approaches for the training of automated data analysis tools in building energy management. *Advanced Engineering Informatics*, 27(4), 457-465.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034613000505>
- Forcan, M., & Maksimović, M. (2020). Cloud-Fog-based approach for Smart Grid monitoring. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 101, 101988. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569190X19301212>
- Mets, K., Ojea, J. A., & Develder, C. (2014). Combining power and communication network simulation for cost-effective smart grid analysis. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3), 1771-1796.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6766918/>
- Ock, J., Issa, R. R., & Flood, I. (2016). Smart building energy management systems (BEMS) simulation conceptual framework. 2016 winter simulation conference (WSC),
- Okai, E., Feng, X., & Sant, P. (2018, 28-30 June 2018). Smart Cities Survey. 2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS),



- Pallonetto, F., Mangina, E., Milano, F., & Finn, D. P. (2019). SimApi, a smartgrid co-simulation software platform for benchmarking building control algorithms. *SoftwareX*, 9, 271-281. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352711018300463>
- Vega, A., Santamaria, F., & Rivas, E. (2015). Modeling for home electric energy management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 948-959. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211500670X>
- Vogt, M., Marten, F., & Braun, M. (2018). A survey and statistical analysis of smart grid co-simulations. *Applied energy*, 222, 67-78. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918304616>

