

Servicio para la gestión inteligente del consumo de energía eléctrica hogareña. Una aplicación móvil para su monitoreo

Lautaro Antonio López, Héctor Luis Vivas, Nicolás García Martínez, Mauro Germán Cambarieri

Laboratorio de Informática Aplicada. Licenciatura en Sistemas.
Universidad Nacional de Río Negro.
Viedma, Río Negro.
{llopez, lvivas, ngarciam, mcambarieri}@unrn.edu.ar

Resumen. El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de una solución basada en tecnologías libres para monitorear el consumo de electricidad residencial, el cual constituye el 43% del consumo eléctrico de la República Argentina. El sistema propone una arquitectura de tres componentes, un sensor recolector de datos hogareño, un servidor para alojar los datos y las funciones de procesamiento en la nube y una aplicación móvil para acceder a la información. El producto obtenido es viable desde el punto de vista económico por los materiales y tecnologías utilizadas. El análisis de los resultados obtenidos permite aseverar que la solución funciona de manera satisfactoria y adecuada a los usuarios.

Keywords. Internet de las cosas. Soluciones móviles. Ciudades inteligentes. Accesibilidad.

1 Introducción

El crecimiento acelerado de la residencia en zonas urbanas y periurbanas del planeta está dando lugar a un replanteo general de la manera en que se las habita. Se estima que en 2030 al 60% de la población mundial habitará en ciudades y que en 2050 podría alcanzar los dos tercios [1] La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas destaca, como su Objetivo 11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles [2]. Por otro lado, el Mecanismo de Facilitación de la Tecnología que se estableció en la Agenda de Acción de Addis Abeba con el fin de apoyar el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible hace especial hincapié en “la creación, el desarrollo y la difusión de últimas innovaciones y tecnologías y conocimientos asociados, así como la transferencia de tecnología en condiciones mutuamente convenidas, son potentes motores del crecimiento económico y el desarrollo sostenible” [3]. En mayo de 2016, la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo del Consejo Económico Social de las Naciones Unidas, en su 19º período de sesiones, debatió sobre las principales tendencias en materia de urbanización y desarrollo sostenible, destacando el rol fundamental de las tecnologías de la información y las comunicaciones en el diseño, desarrollo y gestión de las ciudades e infraestructuras inteligentes [4]. Por otro lado, en el punto 11 del mismo documento, se cita como un componente de una infraestructura

inteligente, la inteligencia energética y destaca el ejemplo de la ciudad de Kashiwa-no-ha (Japón) y la aplicación de sistemas domésticos de gestión de la energía a escala del término municipal.

Con estos antecedentes se plantea la necesidad de desarrollar un sistema de monitoreo de consumo eléctrico domiciliario para el uso eficiente y sustentable del citado recurso, con el objetivo de comprometer al propio usuario en acciones de ahorro energético a partir del conocimiento de su consumo diario, permitiéndole el acceso en línea a través de una aplicación móvil de los datos que se generan en su propio hogar.

Tecnologías disponibles como internet de las cosas [5], dispositivos móviles, sensores, procesamiento en la nube y dispositivos de hardware libre son integrados en esta solución para generar datos que pueden utilizarse inteligentemente y de esta forma optimizar recursos energéticos y mejorar su rendimiento.

El presente trabajo aborda, en el punto 2, la problemática actual del consumo de energía eléctrica y la necesidad de hacer un uso responsable de la misma. El punto 3 describe la solución desarrollada y en el punto 4. Se analizan los resultados, se plantean las conclusiones obtenidas y se formulan los trabajos futuros.

2 Trabajos Relacionados

En 2014, Betancor Caro [6] desarrolló un monitor de electricidad integrado por similares componentes de hardware que el que se plantea en este trabajo, el software desarrollado se basa en una arquitectura cliente servidor, siguiendo el patrón MVC¹, utilizando PHP para el servidor y el Framework AngularJS para las interfaces de usuario. Para móviles cuenta con una interfaz adaptativa con un reducido nivel de usabilidad. La tecnología y el patrón de diseño utilizado no garantizan la escalabilidad en un escenario de múltiples monitores. En 2016, Guacaneme Valbuena y Pardo Agudelo [7], diseñaron una solución con la finalidad de censar el consumo residencial de electricidad y agua. La arquitectura es similar al anterior y al presente trabajo. El software se implementó usando NodeJS para el Back-end y para la comunicación entre los monitores y el servidor se utilizó Websocket. Se desarrolló una sola aplicación web. Su arquitectura permite una rápida escalabilidad. En 2018, Peláez Aucay y Jimenez Guamán [8], plantearon un sistema de monitoreo basado en PLC sobre la red eléctrica. Para esto, integraron dispositivos capaces de separar el canal de comunicación de la electricidad que viaja por la red. Este tipo de comunicaciones es interesante en un esquema de redes de electricidad inteligentes, pero en la actualidad, las instalaciones de la mayoría de los hogares y redes de distribución urbanas no están preparadas para soportar que este protocolo de comunicación, funcione correctamente, viéndose la señal de datos afectada por interferencias electromagnéticas. El software se desarrolló utilizando un servidor web LAMP².

¹ MVC: Modelo-Vista-Controlador.

² LAMP: Linux-Apache-MySQL-PHP.

3 Situación/Problemática

En la actualidad, el consumo desmedido de recursos no renovables está impactando en nuestro entorno de diferentes formas, cambios en el clima, catástrofes naturales, el efecto invernadero, etc. Para lidiar con esto, debemos realizar grandes cambios y muchos de estos deben ser culturales.

La electricidad, es generada en su mayoría en base a recursos no renovables. Por lo que es importante realizar un uso responsable de la misma. En Argentina, los sectores residenciales, acumulan un porcentaje de consumo de electricidad del 43%, mientras que el restante se divide entre el sector industrial y el comercial [9]

Por ende, resulta de gran relevancia generar conciencia en las personas para que tengan un estilo de vida más sustentable. Para esto se plantea una solución que sea útil a la hora de controlar y, en lo posible, reducir el consumo de electricidad.

La mayoría de los ciudadanos no son conscientes de toda la energía que usan a diario en sus hogares. Esto, en parte, se debe a todos los dispositivos tecnológicos con los que convivimos día a día; las heladeras, lavarropas, televisores, routers, dispositivos móviles, iluminación, calefacción, etc. Son utilizados de forma casi permanente, sin tener en cuenta el consumo de electricidad que representan.

De acuerdo con diferentes estudios consultados, este consumo desmedido se produce, en gran parte, porque el usuario no tiene un conocimiento del consumo de electricidad en tiempo real. [10] [11]. Esto también sucede en Argentina, donde la información sobre gasto/consumo sólo se conoce cuando llega la factura al final del periodo, que puede ser mensual o bimestral. Durante esta ventana de tiempo, las personas no son conscientes de la electricidad que están utilizando.

4 Solución propuesta

Teniendo en claro la problemática que nace del uso desmedido de los recursos energéticos y la importancia de generar conciencia para que esto no suceda, se plantea una alternativa moderna, sencilla y al alcance del ciudadano para poder monitorear el consumo de electricidad de una residencia.

Para poder enfrentarse al desafío que implica reducir el consumo, es primordial tener información del mismo. Algo que parece casi obvio, pero que en Argentina no está disponible para los ciudadanos. El consumo de electricidad no se puede conocer hasta el momento que llega la factura de la empresa distribuidora de electricidad al finalizar el periodo de facturación.

Por ello, se propone una solución con el objetivo de reducir esa ventana de tiempo, y brindar a los ciudadanos información útil sobre el consumo en tiempo real.

De esta manera, la electricidad dejaría de ser un recurso “invisible” del que no se tiene conocimiento, para transformarla en algo que está monitoreada las veinticuatro horas del día. Esto no es algo menor, llenar el vacío de información que se genera entre los periodos de facturación, ayuda a que las personas sean conscientes y estén atentos a acciones o hábitos que antes no tenían en cuenta pero que pueden modificar, para reducir el consumo de electricidad, significando un ahorro para la persona. [10]

4.1 Planificación.

Para llevar a cabo las tareas de planificación, gestión y desarrollo de la solución, se utilizó la metodología de trabajo SCRUM encuadrada en el marco de desarrollo ágil. Luego de que fueron llevadas a cabo las tareas de relevamiento correspondientes, la información obtenida fue volcada en historias de usuario (HU) que conformaron la “pila del producto”, tal como se muestran en la Tabla 1.

Historias de usuario	
HU 1	Administración de los usuarios
HU 2	Administración de las estaciones de monitoreo
HU 3	Cargar facturas de electricidad al sistema
HU 4	Ver consumo actual de electricidad
HU 5	Ver consumo de electricidad mensual
HU 6	Alertas de consumo excesivo
HU 7	Monitoreo del consumo eléctrico
HU 8	Consulta de las estaciones de monitoreo de un usuario

Tabla 1. Historias de usuario definidas.

Para llevar a cabo el desarrollo de las diferentes piezas de software de forma más controlada y eficiente, se planificaron un conjunto de iteraciones. En total fueron cuatro y cada una duró 30 días. Las iteraciones quedaron definidas como se muestran en la Tabla 2.

Sprint 1	HU 1. Administración de los usuarios
	HU 2. Administración de las estaciones de monitoreo
Sprint 2	HU 7. Monitoreo del consumo eléctrico
	HU 3. Cargar facturas de electricidad al sistema
Sprint 3	HU 8. Consulta de las estaciones de monitoreo de un usuario
	HU 4. Ver consumo actual de electricidad
Sprint 4	HU 6. Alertas de consumo excesivo
	HU 5. Ver consumo de electricidad mensual

Tabla 2. Planificación de las iteraciones.

4.2 Solución desarrollada

Se basó sobre una arquitectura integrada por tres componentes: el servidor de datos, el monitor de consumo eléctrico y una aplicación móvil. Tal como se exponen en la Figura 1.

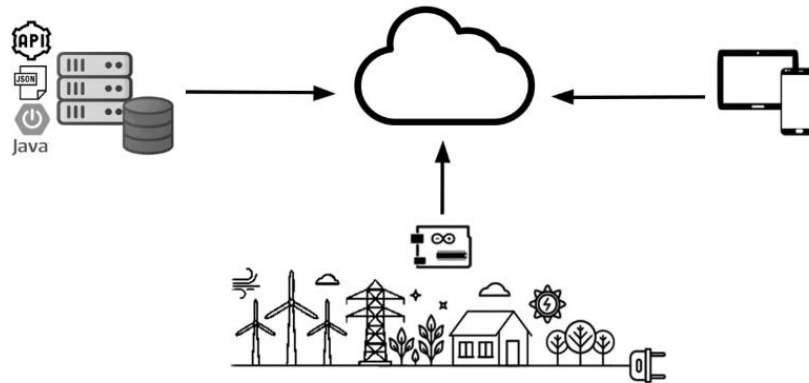


Figura 1. Arquitectura de la solución

El servidor de datos, se integró para procesar la información enviada por los monitores de consumo y brindar los servicios necesarios para la aplicación móvil.

Fue implementado siguiendo los lineamientos típicos para una arquitectura del estilo REST. Los cuales plantean: el uso de mensajes HTTP sin estado, la definición de una interfaz genérica para las operaciones y, por último, propone la utilización de hipermedios tanto para el envío de información como para indicar el estado de la misma. [12]

El framework utilizado en la implementación fue Spring Boot que permite agilizar el desarrollo de aplicaciones JAVA.

Para garantizar que la información del servidor no sea accedida por agentes externos, este se protegió utilizando un mecanismo de autenticación basado en el estándar JSON web tokens. [13]

Los servicios que fueron desarrollados se describen en la Tabla 3.

Gestión de usuarios	Consta de los servicios necesarios para llevar a cabo la administración de los usuarios del sistema.
Consulta de monitores de consumo	Permite al usuario acceder al listado de estaciones que posee junto al estado de cada uno
Consultas sobre el consumo eléctrico	Permite filtrar entre fechas determinadas y la unidad para ponderar el consumo
Gestión de las facturas de electricidad	Almacena el importe en pesos argentinos, la cantidad de kWh consumidos, el año y el periodo al que pertenece.
Alertas	Para variaciones abruptas en sus patrones de consumo de electricidad, y el estado de conexión del monitor

Tabla 3. Servicios desarrollados

El monitor de consumo eléctrico, fue desarrollado integrando tecnologías libres: un microcontrolador Arduino tipo Uno R3, un sensor de corriente no invasivo tipo SCT 013 y un módulo de conectividad WiFi tipo ESP 8266, tal como se muestra en la Figura 2.

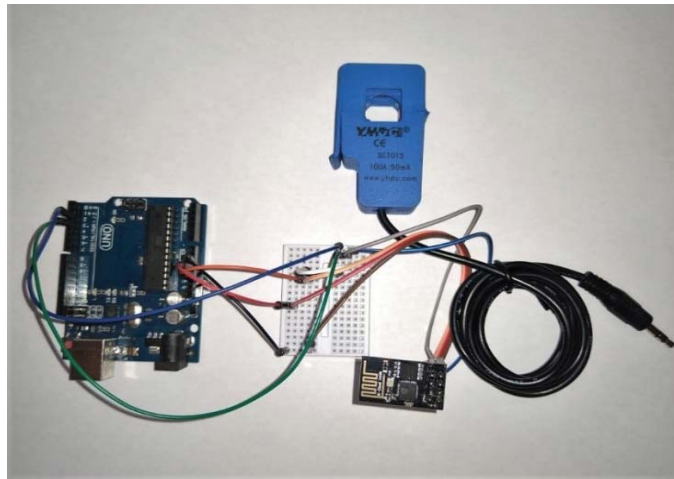


Figura 2. Prototipo de monitor de electricidad.

La aplicación móvil, fue desarrollada para teléfonos con sistema operativo Android 7, pero es compatible con versiones anteriores.

Entre sus funcionalidades son de destacar: la pantalla de ingreso, el menú de la aplicación (Figura 3), la carga de datos de las facturas de electricidad emitidas por la empresa proveedora del servicio (Figura 4), el acceso a las estaciones de consumo, donde se exhibe el nombre de cada una, el domicilio de la misma y el estado en el que se encuentra, que puede variar de acuerdo a su funcionamiento: un icono de color verde junto al mensaje “Conectado”, si la estación se encuentra censando datos y enviándolos al servidor sin ningún inconveniente. Si el monitor no envió ningún dato en un período de tiempo mayor a las dos horas, se mostrará un icono de color amarillo, junto al mensaje: “Última conexión hace XXX minutos” con el registro de la hora en que se envió el último dato al servidor. Por último, en el caso de que la estación no envíe datos por un periodo mayor a 8 (ocho) horas, se muestra un icono rojo junto a un mensaje “Desconectado” (Figura 5).



Figura 3. Menú



Figura 4. Facturas



Figura 5. Estaciones

La información consolidada se observa en la Figura 6, donde se despliega el consumo de la estación en tiempo real en un reloj, el cual posee distintos intervalos definidos por colores, donde puede distinguirse el consumo normal en color verde, un aumento anormal del gasto energético en color amarillo y una situación extrema en color rojo. Estos intervalos se definen en forma automática en base a los patrones de consumo históricos del usuario. Debajo de este gráfico, se expone el consumo en kilowatts por hora (kWh) de la última hora y a la par de este valor el correspondiente gasto monetizado y, a continuación, un gráfico que muestra el consumo del día anterior en formato de líneas, donde: sobre el eje Y, se exhibe la cantidad de kWh que fueron utilizados; y sobre el eje X, se indican las horas del día a la que se corresponden las mediciones.



Figura 6. Pantalla de monitoreo

Por último, la aplicación tiene la capacidad de recibir alertas en formato de notificación “on push” sobre: desvíos en los patrones de consumo y eventuales situaciones que pongan fuera de línea el monitor de consumo.

5 Verificación y análisis de los resultados.

Se llevaron a cabo un conjunto de pruebas sobre las diferentes partes de la solución. En principio se enfocaron en el monitor de consumo, con la finalidad de que el error máximo en las mediciones del sensor no supere el 10%.

Estas tuvieron lugar en el Laboratorio de Informática Aplicada de la UNRN³. Se construyó un circuito eléctrico donde se conectaron 2(dos) resistencias eléctricas, cada una con un consumo de 2000 watts. Además, se acopló un tester digital de corriente alterna para tener conocimiento de la potencia dentro del circuito. Durante el proceso se registraron las mediciones del monitor y las de tester en periodos de una hora, probando diferentes escenarios con consumo intermitente y sin consumo. En base a los valores obtenidos se calculó el porcentaje de error en cada etapa para establecer una constante de ajuste que permitió reducir el error en cada medición. Luego, se repitió la prueba, aplicando la corrección obtenida. Los resultados de ambas etapas se visualizan en la Tabla 4.

		Resultados de las mediciones		
		Monitor	Tester	Porcentaje de error
Primera etapa	Prueba intermitente	3524w	2680w	31%
	Consumo máximo	6048w	4360w	38%
	Sin consumo	0.04w	0.03w	33%
Segunda etapa	Prueba intermitente	1581w	1740w	9%
	Consumo máximo	4162w	4529w	8%
	Sin consumo	0.0261w	0.03w	13%

Tabla 4. Resultados de la prueba

La otra prueba, consistió en instalar el monitor de consumo eléctrico en un domicilio residencial por un periodo de 30 días con el objeto de coleccionar los datos de consumo eléctrico. La fecha de inicio fue el 11 de febrero del 2019 a las 00:00:00 y finalizó el 12 de marzo de 2019 a las 23:59:59. Los resultados se muestran en el Gráfico 1.

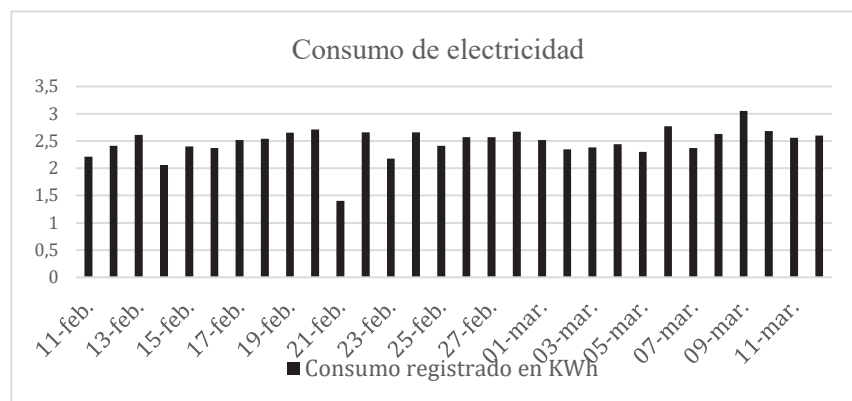


Gráfico 1. Resultados obtenidos de la prueba en una residencia

En el periodo definido, se registraron 49452 (cincuenta y ocho mil cuatrocientas cincuenta y dos) mediciones. El consumo acumulado, fue de 74.24 kilowatts por hora.

En comparación con la factura de electricidad del periodo noviembre-diciembre del 2018 que indica un consumo de 70 kWh y la de diciembre-enero del 2019, cuyo consumo es de 63 kWh del domicilio donde se realizaron las pruebas. Encontramos que

el valor obtenido por el monitor de electricidad, se aproxima al consumo estimado dentro del periodo y al registrado por la empresa proveedora del servicio eléctrico, tal cual se aprecia en el facsímil de la factura siguiente (Figura 7)

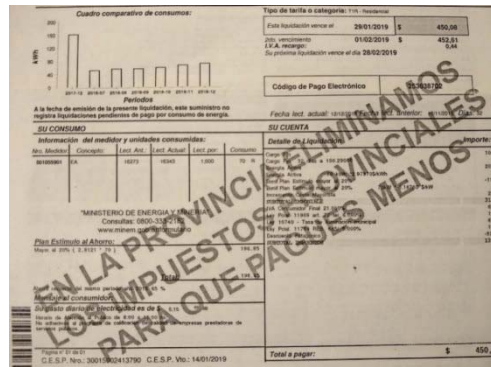


Figura 7. Factura de consumo durante el período estudiado

6 Conclusiones y trabajos futuros

A la luz de las pruebas ejecutadas se observó el correcto funcionamiento de la solución implementada. Los componentes utilizados en el monitor de consumo no presentaron problemas a la hora de realizar las tareas de censado de la electricidad.

Es importante destacar, el bajo costo de los componentes utilizados, lo que favorece a su fabricación y distribución. Teniendo en cuenta el panorama de ciudades y servicios inteligentes, este aspecto de la arquitectura facilita su integración a los hogares.

Mediante la utilización de monitores de consumo de forma masiva, es propicio el escenario de servicios de electricidad inteligentes y redes energéticas capaces de auto regularse basándose en la información obtenida por estos dispositivos.

Se estima continuar avanzando y mejorando la solución, a través de la integración de componentes de hardware que permitan la conectividad a redes más adecuadas para internet de las cosas, como LoRa o LoRaWAN; investigar el uso de componentes alternativos para mejorar la precisión en las mediciones.

Por otro lado, se buscará profundizar en el análisis de los datos obtenidos, contrastando los datos suministrados por el monitor de consumo y los brindados por la empresa proveedora del servicio de manera de lograr un mayor y mejor impacto sobre el hábitat ciudadano, haciéndolo más sustentable y resiliente.

7 Referencias

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, (ST/ESA/SER.A/366). Disponible en <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>

- [2] Naciones Unidas. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. 70/1. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible Disponible en: <https://undocs.org/es/A/RES/70/1>
- [3] Naciones Unidas. Resolución aprobada por la Asamblea General el 27 de julio de 2015 69/313. Agenda de Acción de Addis Abeba de la Tercera Conferencia Internacional sobre la Financiación para el Desarrollo (Agenda de Acción de Addis Abeba) Disponible en: https://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares69d313_es.pdf
- [4] Naciones Unidas. Consejo Económico y Social. Consejo de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Ciudades e infraestructuras inteligentes. Informe del Secretario General E/CN.16/2016/2. Mayo de 2016. Disponible en https://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ecn162016d2_es.pdf
- [5] Dave Evans. (2011, abril) Internet de las cosas como la próxima evolución de Internet lo cambia todo. Cisco Internet Business Solutions Group. Disponible en: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf
- [6] Y. Betancor Caro. Sistema doméstico de monitorización del consumo eléctrico. Trabajo de fin de grado. Universidad de la Laguna. Tenerife. España. 2014. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/628/Sistema%20domestico%20de%20monitorizacion%20del%20consumo%20electrico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] G. Guacaneme Valbuena y D. Pardo Agudelo. Diseño e implementación de un sistema de medición de consumo de energía eléctrica y agua potable remoto con interacción al usuario basado en el concepto “internet de las cosas”. Trabajo de fin de grado. Universidad Distrital San Francisco José de Caldas. 2016. Bogotá. Colombia. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4315>
- [8] E. Pelaez Aucay y P. Gimenez Guaman. Diseño de un sistema de medición y monitoreo del consumo de energía por circuitos en el hogar, mediante tecnología de comunicación por línea de potencia. Trabajo de graduación. Universidad del Azuay. Cuenca. Ecuador. 2018. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7930/1/13668.pdf>
- [9] CAMMESA. (2017). Informe anual 2017. Disponible en: <http://ageera.com.ar/wp-content/uploads/2018/09/informe-anual-CAMMESA-2017.pdf>
- [10] Hargreaves, Tom & Nye, Michael & Burgess, Jacquelin. (2010). Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors. Energy Policy. 38. 6111-6119. 10.1016/j.enpol.2010.05.068. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222295056_Making_energy_visible_A_qualitative_field_study_of_how_householders_interact_with_feedback_from_smart_energy_monitors
- [11] L. Putra, M. Yudishtira y B. Kanigoro. Design and Implementation of Web Based Home Electrical Appliance Monitoring, Diagnosing, and Controlling System. En International Conference on Computer Science and Computational Intelligence (ICCCSCI 2015). 2015
- [12] Roy Fielding. (2000). Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. Universidad de California, Irvine. Disponible en: https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/fielding_dissertation.pdf
- [13] Internet Engineering Task Force (IETF). (2015). JSON Web Token (JWT). Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc7519> [2019, enero]