

Artículo original

## DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA INMÓTICO (IoT) DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN ENERGY MANAGEMENT IMMOTE SYSTEM (IoT) FOR THE PRIVATE UNIVERSITY OF TACNA

Christian Acero Catacora<sup>1</sup>

Tito Ale-Nieto<sup>2</sup>

Enrique Lanchipa Valencia<sup>3</sup>

Jorge Deza C<sup>4</sup>

Información del artículo:

Recibido: 20/10/2019

Aceptado: 10/05/2020

<sup>1234</sup>SmartUPT/Facultad de Ingeniería/Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú  
E-mail: <sup>1</sup>christian.acero@masterprojectperu.com, <sup>2</sup>tale@upt.edu.pe

## *Resumen*

Una buena gestión del consumo de energía en luminaria está sujeta a la aplicación de técnicas o tecnologías que ayuden a automatizar su uso de manera más efectiva. En este caso hablamos de un Sistema Inmótico de Internet de las Cosas, que da lugar a un concepto que está tomando presencia en la mayoría de los edificios modernos, Smart Building o Edificio Inteligente, que tiene como objetivo la gestión integrada y automatizada de casi todas las funcionalidades de un edificio como electricidad, iluminación, climatización, etc. Es por ello que se desarrolló un Sistema de Internet de las Cosas para la conectividad y gestión de dispositivos inteligentes capaces de controlar la intensidad de luminosidad de acuerdo al movimiento y el nivel de luz natural en un ambiente, actuando de manera autónoma o controlada desde una aplicación web. Esto permite una reducción de un 44 % en el gasto energético en luminaria, lo cual cumple con uno de los criterios de un Smart Building.

**Palabras Clave:** Computación en la nube; Edificio Inteligente; Inmótica; Internet de Cosas; Microcontroladores.

## *Abstract*

A good management of energy consumption in luminaire is subject to an application of techniques or technologies that help to automate its use more effectively. In this case, we speak of an Inmotic System of the Internet of Things, a Place of a Service, a Presence of a System, an Intelligent Building or an Intelligent Building, which has the objective of the integrated and automated management of almost all the functionalities of a building such as electricity, lighting, air conditioning, etc. It is also an Internet of Things system for the connectivity and the management of the devices for the control of the intensity of the luminosity according to the movement and the level of natural light in an environment, acting autonomously or controlled from a web application This means a reduction of 40% in the energy expenditure in the luminaire, which meets one of the criteria of an intelligent building.

**Keywords:** Cloud Computing; Inmotic; Internet of Things; Microcontrollers; Smart Building

# 1. Introducción

Sean edificaciones tales como hoteles, corporaciones, colegios, universidades, etc. Su consumo resulta ser una gran parte de la energía primaria total en todo el mundo. Más de la mitad de la energía consumida en estos edificios se atribuye en la electricidad y alrededor de un tercio de esta es para la iluminación.

Respecto a estos hechos, hoy el tema de ahorrar energía en instalaciones de iluminación es un incentivo importante para la investigación. Por ejemplo, Rodríguez (2016) describe en su trabajo de investigación y el desarrollo de un Sistema Inmótico y ahorro de energía lumínica para las aulas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma. Kumar Kar, Kajale, y Kumar(2017) describen la implementación de un sistema de Led Inteligentes y la eficiencia de un sistema de Gestión de Datos para edificios.

Los sistemas anteriores describen soluciones basadas en controles lazo abierto basados en una condición de movimiento para prender o apagar las luces, nuestra solución aplica el uso de tiras led en corriente continua lo cual tienen un mejor rendimiento que los fluorescentes led en corriente alterna, cuentan con modos de operación, es controlado y monitoreado desde cualquier parte del mundo, el servidor está alojado en la nube, su costo de fabricación no supera las soluciones parecidas por grandes corporaciones como lo es Siemens.

## 2. Objetivos

La aplicación de un Sistema Inmótico de Internet de las Cosas y su efectividad en la gestión energética en la luminaria tiene como objetivo implementar un sistema Inmótico innovador basado en Internet de las Cosas para controlar y monitorear las luces desde una aplicación web. Diseñar un dispositivo electrónico basado en un microcontrolador inalámbrico lo cual nos permita conectarse al sistema inmótico y también funcione de manera autónoma.

## 3. Metodología

El estudio de tipo experimental, donde se compararon el consumo convencional de un fluorescente led y el dispositivo desarrollado para demostrar el ahorro energético. Para ello se hizo las pruebas considerando el alcance del proyecto, 19 fluorescentes leds entre el pabellón "C" y "F" de la Facultad de Ingeniería del Campus Capanique de la Universidad Privada de Tacna. Se tomó en consideración el consumo de los fluorescentes leds que oscila entre los horarios de 17:30 h hasta las 23h.

También las situaciones de funcionamiento normal de los fluorescentes leds donde el personal de seguridad es el encargado de prender y apagar las luces de todo el campus Capanique.

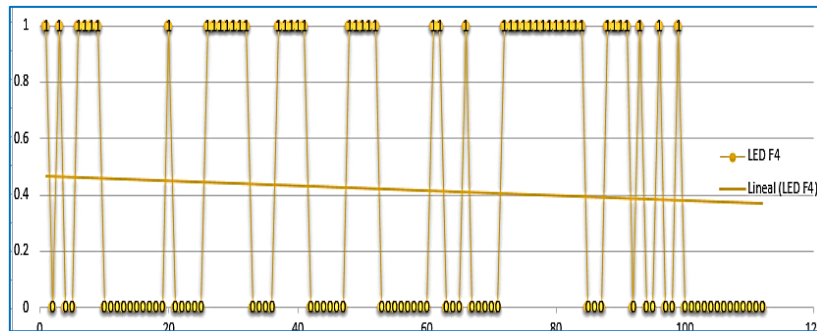
## 4. Resultados

### 4.1 Comparación de datos

A continuación, se muestra datos recolectados por el dispositivo SmarThink en tiempo de 120 minutos, tomando una tendencia del consumo que se hace durante horarios de la noche.

**Figura 1**

*Tendencia de uso del LED F4*

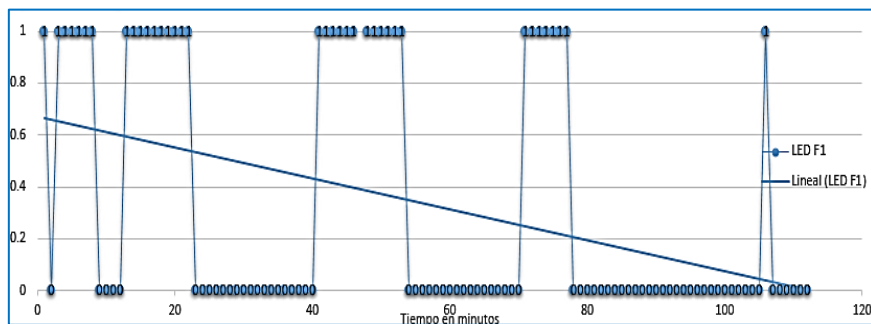


*Nota.* Elaboración propia.

Las lecturas de los valores en el eje Y son 0 y 1, indicando que cuando los estén en valor 1 su consumo es el máximo, es decir 24 watts, mientras que cuando está en 0, su consumo es de 5 watts.

**Figura 2**

*Tendencia de uso del LED F1*

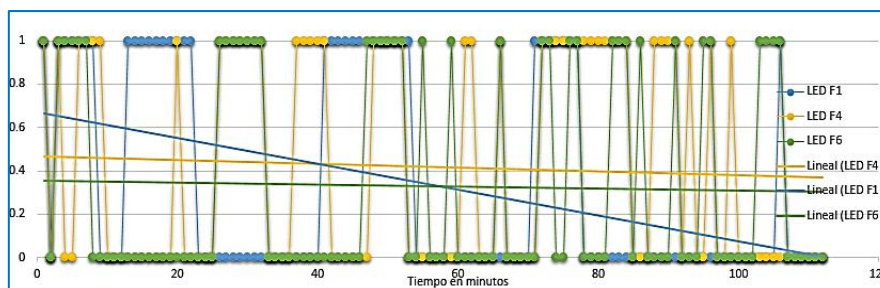


*Nota.* Elaboración propia.

Como se muestra en la figura 3, la tendencia del uso de los dispositivos instalados es variado ya que dependen mucho del ambiente, entonces podemos deducir que el consumo de los dispositivos no es constante como los fluorescentes leds convencionales, sino que tienen una media de 10,5 Watts/h Teniendo en cuenta una media de los dispositivos se puede ver en la tabla 1.

**Figura 3**

Vista de lectura de datos de diferentes LEDS



**Tabla 1**

Comparación entre fluorescente led y dispositivo Smarthink

	Potencia (Wh)	Cantidad	Tiempo (h)	Consumo Total ( Wh)
Leds	24,0	19	5,5	2508,00
Dispositivos Smarthink	10,5	19	5,5	1097,25

Nota. Elaboración propia.

Se afirmó que los fluorescentes leds son apagados por el personal de seguridad, con los dispositivos a cuáles se ha denominado “**SmarThink**” tienden a apagar las luces, si no hay movimiento o si la luz natural en el ambiente es fuerte, como la luz del día, entonces también se apagan. Los dispositivos SmarThink, entran en un modo sleep, el cual su consumo no será igual sino como se muestra en la siguiente tabla

**Tabla 2**

Consumo de en los modos del dispositivo Smarthink

Smarthink	Tiempo (h)	Potencia (Wh)	Total Unitario	Cantidad dispositivos	
Modo Sleep	18,5	0,84	15,54	19	(295,26 Wh)
Modo activo	5,5	5,0	27,5	19	(522,5 Wh)

Nota. Elaboración propia.

Entonces los dispositivos siempre estarán prendidos los cuales podemos ver su consumo promedio en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Consumo total entre fluorescente led y dispositivo Smarthink*

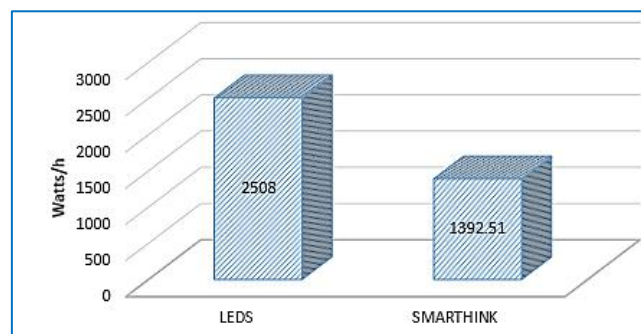
	Potencia (Wh)	Cantidad	Tiempo (h)	Consumo (Wh)
Leds	24,0	19	5,5	2508,00
Dispositivos	10,5	19	5,5	1097,25
Smarthink	0,84	19	18,5	295,26
TOTAL				1392,51

*Nota.* Elaboración propia.

Como se puede apreciar el consumo de los dispositivos SmarThink es menor a pesar de que están energizados todo el día.

**Figura 4**

*Diferencia del consumo entre un fluorescente led y Smarthink por un día*



*Nota.* Elaboración propia.

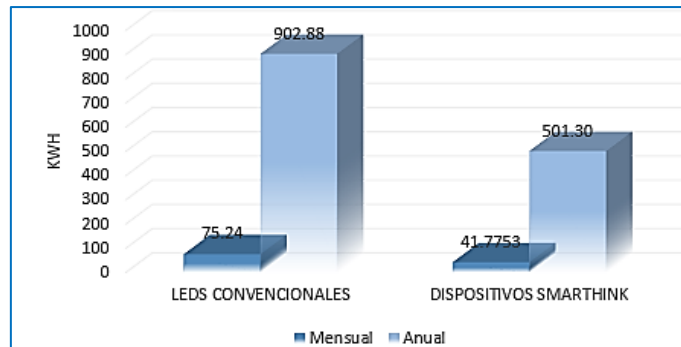
Se puede afirmar que con SmarThink obtenemos un 55,52 % de ahorro en energía en las luces, teniendo en cuenta que ya no será necesario enviar a algún personal a prender o apagar las luces, sino que estará automatizado.

#### **4.2 Estimación de gasto**

Se comprobó que el consumo energético promedio disminuyo 44,48%, tomando datos podemos estimar el consumo mensual y anual entre las luces convencionales y los dispositivos SmarThink.

**Figura 5**

*Estimación de gasto mensual y anual*



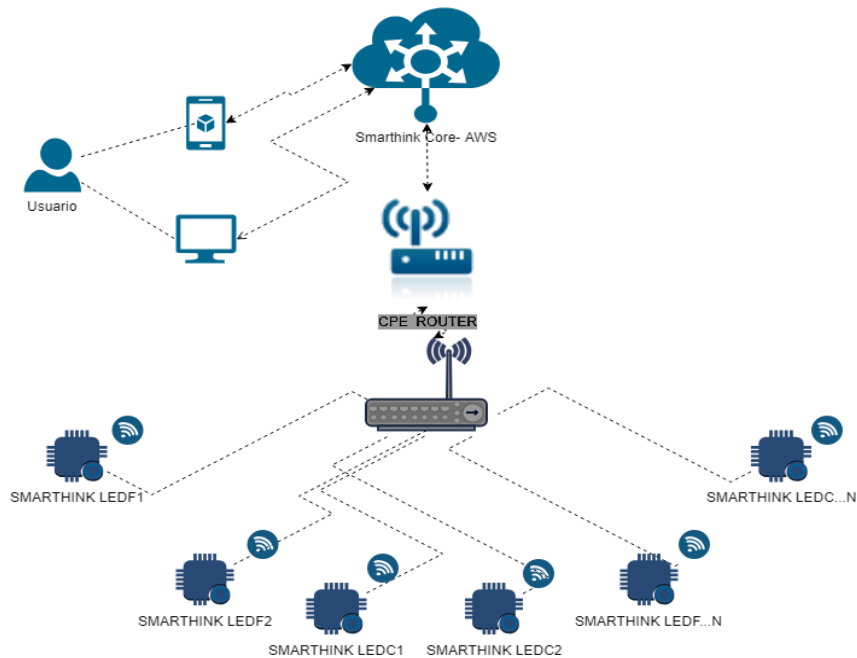
*Nota.* Elaboración propia.

### 4.3 Desarrollo

La elección de la tecnología a usar se base un microcontrolador con comunicación TCP/IP inalámbrica, las cuales no dependan de puntos de red, para ello se implementó la siguiente topología:

**Figura 6**

*Topología de Sistema Inmótico de Gestión Energética*



*Nota.* Elaboración propia.

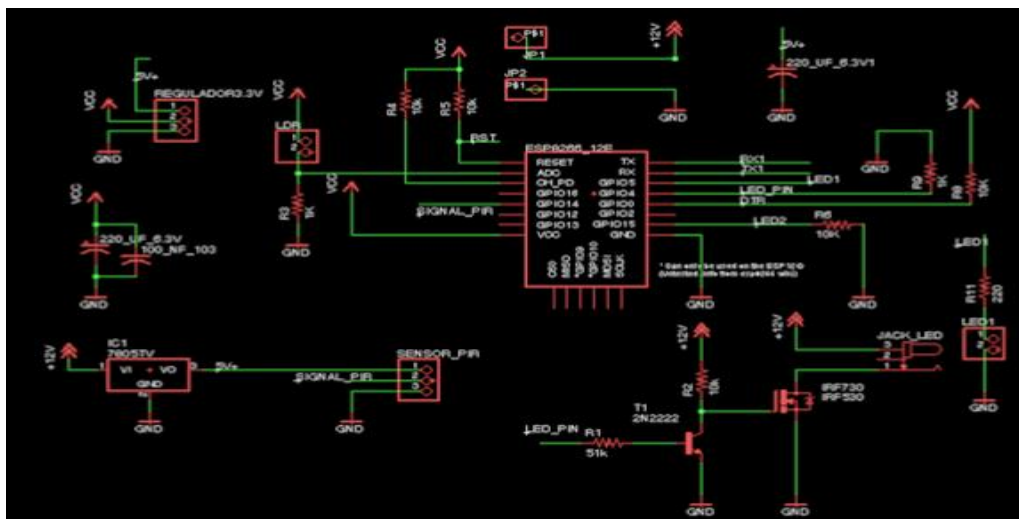
Los dispositivos tienen una red privada, administrada por el servidor DHCP del Router, cada dispositivo hace una petición hacia el Servidor Core SmarThink la cual a través de sockets asigna un puerto de comunicación mientras este esté conectado a una red y tenga acceso a internet.

#### 4.4 Dispositivos SmarThink

Se diseñó un circuito electrónico para el control de las luces led de corriente continua, que se muestran en las siguientes figuras 7 y 8.

**Figura 7**

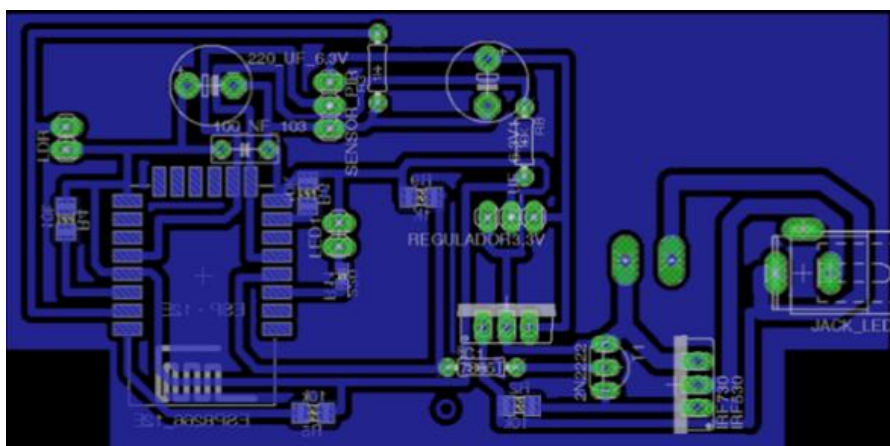
*Circuito Eléctrico*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 8**

*Diseño del circuito electrónico SmarThink*

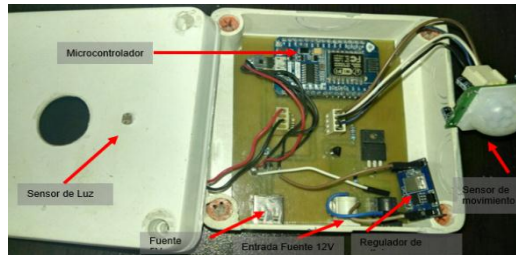


Nota. Elaboración propia.

Seguidamente se realizó la Impresión de circuito y producto final que se observan en la figura 9 y 10.



**Figura 9**  
Versión de Prueba



Nota. Elaboración propia.

**Figura 10**  
Versión final Smarthink



Nota. Elaboración propia.

## Servidor y aplicación Web

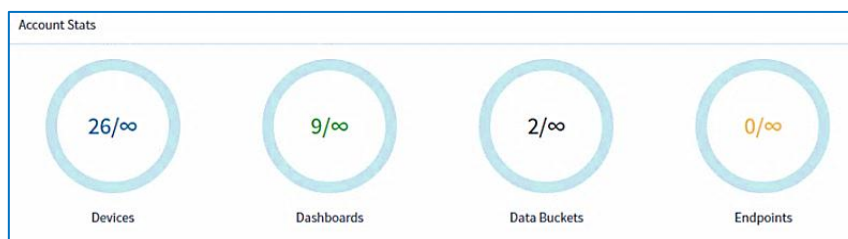
El servidor se desarrolló para funcionar en arquitecturas arm64, amd64, x86 y armhf. Las tecnologías utilizadas para el servidor core son:

- Boost: funciones asíncronas, punteros compartidos, etc.
- Jemalloc: Mejora la estabilidad de la memoria del servidor en ejecución en largos periodos de tiempo.
- Crypto ++: Calcula hash, hmac\_sha\_256, etc.
- AWS Certificate Manager: Proporciona conexiones HTTPS con el servidor, tanto interfaz Web y los dispositivos SMATHINK.
- Maxmind: Para georreferenciar dispositivos.

## Pantallas de administración del Sistema Inmótico

**Figura 11**

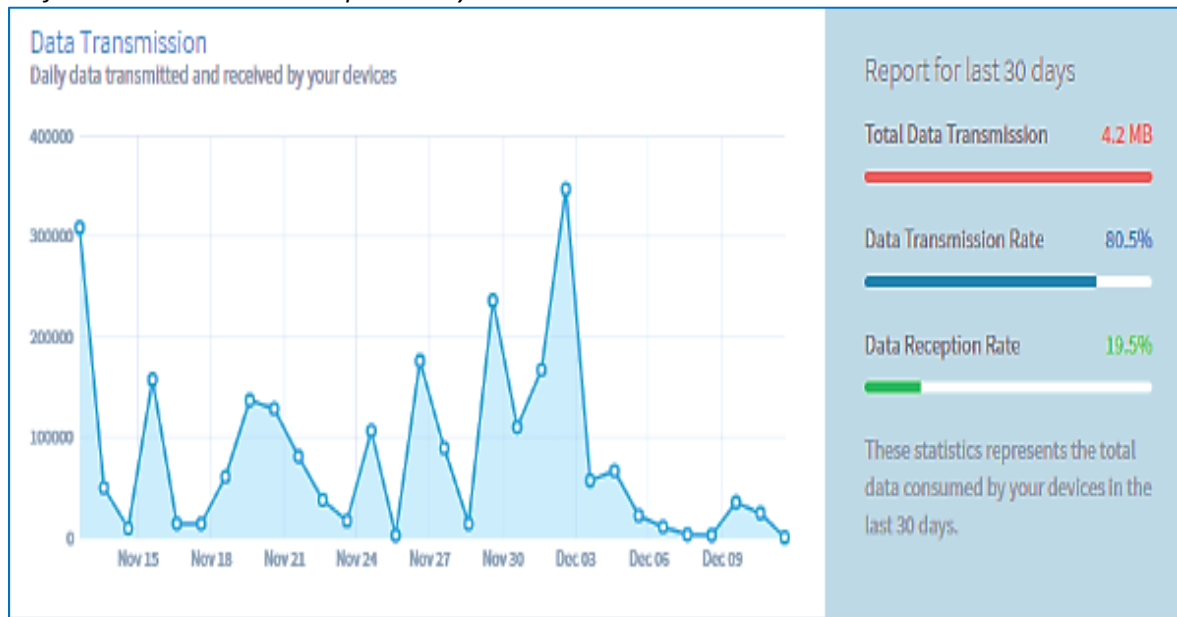
*Lista de dispositivos conectado, paneles de administración y datos*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 12**

Tráfico de datos entre los dispositivos y el servidor



Nota. Elaboración propia.

En la figura 12, se observa que la cantidad requerida en datos para la conectividad es mínima, a penas kbits, lo cual demuestra que es factible para la implementación de más dispositivos.

**Figura 13**

Lista de dispositivos y última fecha de acceso

Device	Description	Last Connection	State
<input type="checkbox"/> PabCLed20	Luz 20 de pabellon B	2018-12-05 20:26:00 -0500	Disconnected
<input type="checkbox"/> Puerta_Trasera	Actuador para abrir la puerta trasera del laboratorio B	2018-12-10 08:35:07 -0500	Disconnected
<input type="checkbox"/> Cortina_1	Control del motor de la cortina	2018-12-10 08:34:38 -0500	Disconnected
<input type="checkbox"/> Luz_Frontal	Control de la luz frontal del laboratorio B- EPIS	2018-12-10 19:41:29 -0500	Disconnected
<input type="checkbox"/> Luz_Trasera	Control de la luz trasera del laboratorio B- EPIS	2018-11-30 18:33:13 -0500	Disconnected
<input type="checkbox"/> Ventilador_Frontal	Control del ventilador frontal del laboratorio B - EPIS	2018-12-10 08:34:36 -0500	Disconnected
<input type="checkbox"/> PabFLed1	Led 1 del pabellón F de la Facultad de Ingeniería	2018-12-10 19:38:12 -0500	Disconnected
<input type="checkbox"/> PabFLed3	Luz 3 del pabellón F de la Facultad de Ingeniería	2018-12-05 20:52:20 -0500	Disconnected

Nota. Elaboración propia.

**Figura 14**  
Panel de control de los led instalados



Nota. Elaboración propia.

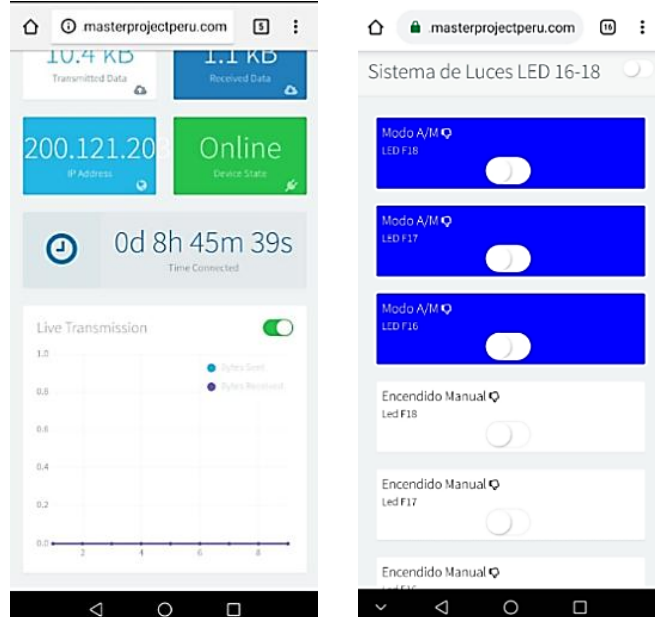
**Figura 15**  
Relección de datos sensados por el dispositivo Smarthink

Date	Value
2018-12-05T20:21:13.738-0500	0
2018-12-05T20:21:08.738-0500	0
2018-12-05T20:21:03.698-0500	0
2018-12-05T20:20:58.749-0500	0
2018-12-05T20:20:53.738-0500	0
2018-12-05T20:20:48.749-0500	0
2018-12-05T20:20:43.738-0500	0
2018-12-05T20:20:38.697-0500	1
2018-12-05T20:20:32.658-0500	0
2018-12-05T20:20:27.737-0500	1

Refresh Viewing 0 to 99 items

Nota. Elaboración propia.

**Figura 16**  
Vista desde un smartphone



Nota. Elaboración propia.

Programación del Microcontrolador ESP8266 dispone internamente de un pequeño procesador, prácticamente es capaz de replicar casi cualquier cosa que los arduinos puedan hacer. El lenguaje de programación utilizado para su programación fue el C++.

## 5. Discusión

En el reporte de Hossein, Khorsandi, Eslamieh, & Saidi (2015); desarrollaron un sistema de control discreto basado en un microcontrolador nrf24l01, el cual funciona de manera local, con un funcionamiento punto a punto, entre un dispositivo y el dispositivo. A diferencia de nuestra solución nuestro sistema, puede realizar control y monitoreo desde Internet, uso de luces led DC en lugar de leds AC. Los leds DC calientan menos y su tiempo de vida es superior a los leds AC, el dispositivo no utiliza un relay para el control sino una señal PWM para controlar la intensidad de las luces. Esto debido a que el nivel de visión por las noches no se pierda completo cuando no haya presencia, sino que vaya disminuyendo para dar visión a personas que se encuentran caminando a cierta distancia.

Si bien existen empresas a nivel internacional que ofrecen soluciones similares, no hay una solución similar para luces led en corriente continua, que tenga las funcionalidades que hemos logrado.

Las dificultades que se presentaron surgieron al momento de armar el dispositivo, ya que se tuvo que improvisar con cajas de paso para su aislamiento, impresión de los circuitos electrónicos de manera casera.

Los trabajos futuros para este trabajo es patentar el dispositivo y la solución informática, ya que su uso no solo puede ser orientado para las luces, sino para automatizar procesos, como los de la irrigación, la lectura de sensores tales como humedad, temperatura, calidad del agua, calidad de agua entre otras. También trabajar con controladores ESP32, ya que son más robustos y tienen más características que pueden hacer que el dispositivo SmarThink se le agregue un sensor de corriente para tener un control exacto del consumo de cada fluorescente led.

## 6. Conclusiones

Los resultados permiten afirmar que se logró desarrollar e implementar el proyecto de manera satisfactoria, validando su impacto en base al análisis de datos recolectados por el dispositivo Smarthink y comprarlas con el uso convencional. Este solo es una parte para lograr que las edificaciones lleguen a ser un Smart Building, ya que los costos de los dispositivos podrían justificar una eventual implementación de más ambientes pero lo más importante, que esta solución pueda llegar al alcance de la mayoría de las personas.

Se recomienda que la Universidad Privada de Tacna implemente laboratorios para estudiantes y docentes que estén interesados en el desarrollo de proyectos innovadores, con equipamiento necesario que facilite su trabajo, siguiendo el ejemplo de diferentes universidades a nivel nacional e internacional.

## 7. Referencias Bibliográficas

Hill, J. (2015). The smart home: a glossary guide for the perplexed. New York.

- Hosseini, M., Khorsandi, A., Eslamieh, A., & Saidi, H. (2015). Diseño e Implementación de un Sistema de luces inteligentes. Shiraz: International Congress on Electric Industry Automation.
- Kumar, A., Kar, P., Kajale, A., & Kumar, S. (2017). Implementación de LED inteligente y la eficiencia de un Sistema de Gestión de Datos para edificios. Singapur: ELSEVIER.
- Mattern, F., & Floerkemeier, C. (2015). From the Internet of Computer to the Internet of Things. Zurich.
- McGraw-Hill. (1999). Home Automation & Wiring. New York.
- Rodríguez, Y. (2016). Sistema inmótico y ahorro de energía lumínica. Lima.
- Foros de Internet, listas de direcciones electrónicas
- Turley, J. (18 de Diciembre de 2002). The Two Percent Solution. Obtenido de embedded: <https://www.embedded.com/electronics-blogs/significant-bits/4024488/The-Two-Percent-Solution>

## **AGRACIEMENTOS**

Las personas que formaron parte de este equipo y gran proyecto. Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería por la retroalimentación para la mejora del proyecto. Personal de soporte de laboratorios de Ingeniería de sistemas, de la Oficina de Infraestructura y de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna.