



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ILUMINACIÓN  
INTELIGENTE UTILIZANDO EL ESTÁNDAR DE  
COMUNICACIONES ZIGBEE.

AUTOR

Jerson Stalyn Bastidas Aragón

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ILUMINACIÓN  
INTELIGENTE UTILIZANDO EL ESTÁNDAR DE  
COMUNICACIONES ZIGBEE.

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los  
requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniero en  
redes y telecomunicaciones”

Profesor Guía

PhD. Jean Michel Clairand Gómez

Autor

Jerson Stalyn Bastidas Aragón

Año

2020

## DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido este trabajo, Implementación de una red de iluminación inteligente utilizando el estándar de comunicaciones ZigBee, a través de reuniones periódicas con el estudiante Jerson Stalyn Bastidas Aragón, en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



Jean Michel Clairand Gómez

Doctor en Ingeniería y Producción Industrial.

CI. 171473668-1

## DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Implementación de una red de iluminación inteligente utilizando el estándar de comunicaciones ZigBee, de Jerson Stalyn Bastidas Aragón, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los trabajos de Titulación".

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Iván', is positioned above a horizontal line.

Iván Ricardo Sánchez Salazar

Magister en Calidad, Seguridad y Ambiente

CI.180345614-2

## DECLARACIÓN DE AUDITORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Jerson Stalyn Bastidas Aragón', written in a cursive style.

---

Jerson Stalyn Bastidas Aragón  
Ci. 171830369-4

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la salud, la fortaleza necesaria para iniciar y culminar este proyecto, quiero agradecer a mis docentes, quienes, con su dedicación, han compartido sus conocimientos para para formarme profesionalmente, con capacidad y excelencia. Además, a mis padres, Lucia y Marcelo Rea, quienes me han apoyado de distintas maneras, siempre con los valores, ejemplos de vida para ser mejor persona, profesional e hijo.

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mi madre, quien ha luchado incansablemente por verme crecer como profesional y como persona, a Don Marcelo, quien supo brindar apoyo a mi madre de manera incondicional, a mí para lograr cumplir mi sueño culminando la carrera de manera exitosa, a mis hermanos quienes me han llenado de motivación y en general a todos quienes han estado conmigo brindándome ánimos y seguridad para lograr llegar a la meta.

## **RESUMEN**

Se trata de mejorar el entorno de iluminación, para ello se revisarán muchos parámetros que se deben considerar al momento de diseñar una implementación de iluminación, se verificará la calidad de iluminación, así como temperaturas de color para mejorar el ambiente de acuerdo a las necesidades que se consideren necesarias.

Se definirá parámetros técnicos de iluminación con el fin de aportar con mayor conocimiento sobre las diferentes medidas que se utilizan, y de esta manera, se deberá poder diferenciar dichos parámetros.

Se configurarán grupos, zonas y escenas de iluminación con el fin de hacer un manejo mucho más sencillo de la plataforma y de las luminarias que serán instaladas.

Se procederá a realizar un levantamiento actual del bloque cuatro, considerando aspectos eléctricos y lumínicos con el fin de optimizar estos dos parámetros.

## **ABSTRACT**

This document presents the optimization of an illuminated environment, improving its lighting level and reducing energy consumption, all this includes software that makes the system totally intelligent, which is achieved thanks to the ZigBee communications standard, which controls communications between the luminaires and the sensors that are decided to occupy, in addition to being able to control through an application or from the computer anywhere in the world.

The aim is to improve the lighting environment, for this purpose many parameters that should be considered when designing a lighting implementation are reviewed, the quality of the lighting is verified, as well as color temperatures to improve the environment according to the needs that are considered necessary.

Technical lighting parameters will be defined in order to contribute with greater knowledge about the different measures that are used, and in this way, we will be able to differentiate said parameters.

Groups, zones and lighting scenes will be configured in order to make handling of the platform and the luminaires that will remain installed much easier.

# ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	JUSTIFICACIÓN.....	2
3	DESARROLLO .....	3
3.1	Breve historia.....	3
3.2	Marco Teórico.....	4
3.2.1	¿Qué es la luz?.....	4
3.2.2	Principales Medidas.....	6
3.2.3	Eficiencia Energética.....	14
3.2.4	Internet de las cosas (IoT) .....	15
3.2.5	ZigBee.....	18
4	ESTADO DEL ARTE .....	19
5	DESARROLLO Y DISEÑO .....	22
5.1	Análisis de requerimientos.....	22
5.2	Estado Actual.....	24
5.3	Hardware .....	37
5.4	Software. ....	39
6	IMPLEMENTACIÓN .....	40
7	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	48
7.1	Análisis eléctrico .....	48
7.2	Análisis lumínico .....	52
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	59
8.1	Conclusiones .....	59
8.2	Recomendaciones .....	60

REFERENCIAS.....	62
ANEXOS .....	64

## 1 INTRODUCCIÓN

A medida que se ha perfeccionado la tecnología LED, se ha logrado implementar luminarias con mejor eficiencia, tanto en consumo de energía como en iluminación, actualmente se puede llegar a tener luminarias con eficiencia lumínica de hasta 110 o 120 lm/W, de esta manera se logra cubrir mayor espacio con menor número de luminarias y a la vez se logra evitar las emisiones de CO<sub>2</sub> en el ambiente.

Aprovechando estas nuevas tecnologías, y el avance que se ha desarrollado en el IoT, Philips, marca líder en el desarrollo de luminarias eficientes, en alianza con Interact, desarrollan un software capaz de controlar de manera eficiente dichas luminarias, de esta manera se logra obtener un punto de control centralizado para lograr generar aun mayor ahorro de energía, ya que, gracias al software y sensores especiales, se logra dimerizar las luminarias de acuerdo a varios parámetros físicos que se pueden encontrar en el transcurso diario del sitio de la implementación, evitando de esta manera los típicos desperdicios de energía que al final del mes representan costos mayores en la facturación de energía eléctrica.

Para un correcto diseño de iluminación es necesario conocer los factores que influyen, los mismos que se derivan en función del espacio tales como dimensiones y detalles, así como, la estética y el presupuesto que se cuenta para la iluminación.

Se pretende implementar una plataforma que permita controlar las luminarias del aula 464 ubicada en el primer piso del bloque cuatro de la sede Queri de la UDLA. Se realizará el diseño correspondiente para todo el bloque, para de esta manera, poder analizar de manera óptima el impacto y el beneficio de la implementación del sistema inteligente.

La plataforma permitirá administrar cada luminaria instalada, para tal efecto se considerará la cantidad de luz natural que disponga el aula, un sensor de ocupación para poder determinar la existencia de personas en el aula y de igual manera se puede realizar un encendido manual de las luminarias.

Una vez realizada la implementación, se realizará un análisis de resultados, para de esta manera poder verificar el ahorro energético que se ha logrado gracias a la implementación de los equipos.

Este proyecto se enfoca en cinco puntos importantes a realizar los cuales se detallan a continuación:

Como primer punto se realizará el diseño de iluminación correspondiente para el bloque 4 de la sede UDLA-Queri. Para lograr cumplir con el objetivo, es necesario utilizar un software diseñado especialmente para iluminación.

Como segundo punto se realizará un levantamiento de la línea base del aula 464 que se encuentra ubicada en el bloque cuatro la cual se encuentra actualmente en funcionamiento.

El tercer punto es el de analizar todos los parámetros físicos a considerarse, tales como, el espacio a iluminar, luz natural y la cantidad apropiada de luxes en el aula.

El cuarto punto es implementar las luminarias de acuerdo con los puntos establecidos en el diseño realizado.

Como último punto se realizarán las pruebas correspondientes para verificar la cantidad de ahorro energético que se ha conseguido gracias al nuevo sistema implementado.

## **2 JUSTIFICACIÓN**

Existen varios tipos de software para el diseño de la iluminación, se puede destacar en el mercado los más importantes como son AGi32, Relux, Litestar, WYSIWYG y Dialux, sin embargo, se centrará el análisis en los dos más competentes y utilizados en la actualidad.

AGi32 es un software profesional utilizado como una herramienta de cálculo para predicciones fotométricas precisas, es una herramienta técnica para la calcular la iluminación en cualquier situación, ayuda a la colocación y el objetivo de la luminaria y valida el cumplimiento de cualquier criterio de iluminación.

DiaLux es un software gratuito en el cual se puede diseñar, calcular y visualizar

de manera profesional la iluminación del entorno como pueden ser habitaciones, pisos, o edificios enteros, cumpliendo así los requisitos de iluminación modernos. Para el caso del este proyecto se ha decidido por el software DiaLux como el software de diseño de iluminación, gracias a sus amplias prestaciones y sobre todo se trata de un software gratuito, que, a diferencia de AGi32 es necesario comprar una licencia para poder utilizar sus prestaciones.

Además, se puede mencionar que DiaLux tiene mayor soporte de ayuda para las personas que no conocen mucho de todas las funcionalidades que este poderoso software puede brindar.

En cuanto a las luminarias que serán implementadas, Philips en asociación con signify, han logrado desarrollar las más eficientes y con un control muy sencillo para su fácil administración, en el mercado actualmente, hay muchas marcas que ofrecen telegestión de luminarias, las mismas que se han dedicado especialmente a la iluminación vial, sin embargo, Philips apuesta por la innovación tanto de iluminación interior como iluminación exterior, es por esta razón que se ha decidido implementar estas luminarias, para de esta manera lograr un proyecto escalable y con la convergencia necesaria para futuras implementaciones.

### **3 DESARROLLO**

#### **3.1 Breve historia**

El mundo evoluciona de manera extraordinaria, desde la invención del foco incandescente creado por Humpry Davy y años después perfeccionado por Thomas Edison, el cual ha sido utilizado durante varios años, el funcionamiento del foco consiste en un filamento por el cual circula energía eléctrica, consiguiendo que solo el 10% se convierta en luz y el 90% se desperdicia y se disipa como calor, en 1976, un ingeniero estadounidense llamado Hammer, crea las lámparas compactas fluorescentes, también conocidos como focos ahorradores, estas lámparas ahora funcionaban de manera diferente, ya que, era necesario energizarlas mediante un balastro electrónico.

Internamente se encapsulaba mercurio y fósforo dentro de un tubo de vidrio en forma de espiral, con esto se logra obtener una mejor eficiencia lumínica, ya que, gracias a este método, se logra obtener un promedio de 70 lm/W lo cual era mucho mejor que un foco incandescente.

Los diodos LED aún siguen siendo novedosos en el mercado de la iluminación, por esta razón es necesario estudiarlo y valorarlo ya que puede ser el futuro en eficiencia energética gracias a su amplio flujo luminoso y su bajo consumo eléctrico.

En 1962 aparece el primer LED el cual solo irradiaba luz roja, fue por este motivo que este diodo era utilizado solo como indicador en dispositivos electrónicos, a fines de los años 80, se desarrolló una gama de colores para estos diodos entre los cuales se destacaron los colores verde, amarillo, azul, y especialmente los blancos, de esta manera en los años 90 se abre paso a la industria de paneles luminosos y de los automóviles, siendo así que en la década del 2000 a 2010 se incrementa de manera exponencial el rendimiento de los LED's blancos y es cuando inicia la industria de la iluminación basada en este elemento (Herranz, M.<sup>a</sup> Ollé & Jáuregui, 2017).

El LED de luz blanca se basa en una corrección de color que se realiza con una capa de fósforos de manera análoga a los tubos fluorescentes, en donde, llegamos a obtener la máxima eficiencia con mínima capa de fósforos posible, de esta manera la temperatura de color que se logra visualizar es mayor a los 6000 °K, cabe mencionar que mientras mayor sea su temperatura de color mayor será su eficiencia, sin embargo el índice de reproducción cromática disminuirá (Herranz et al., 2017).

## **3.2 Marco Teórico**

### **3.2.1 ¿Qué es la luz?**

La luz se define como la radiación electromagnética con longitudes de onda entre 380 nm y 750 nm que es visible para el ojo humano, esta radiación se genera por la vibración de partículas cargadas eléctricamente como partes de moléculas calentadas o electrones en los átomos, esta radiación se puede visualizar en la figura 1 que se encuentra a continuación.

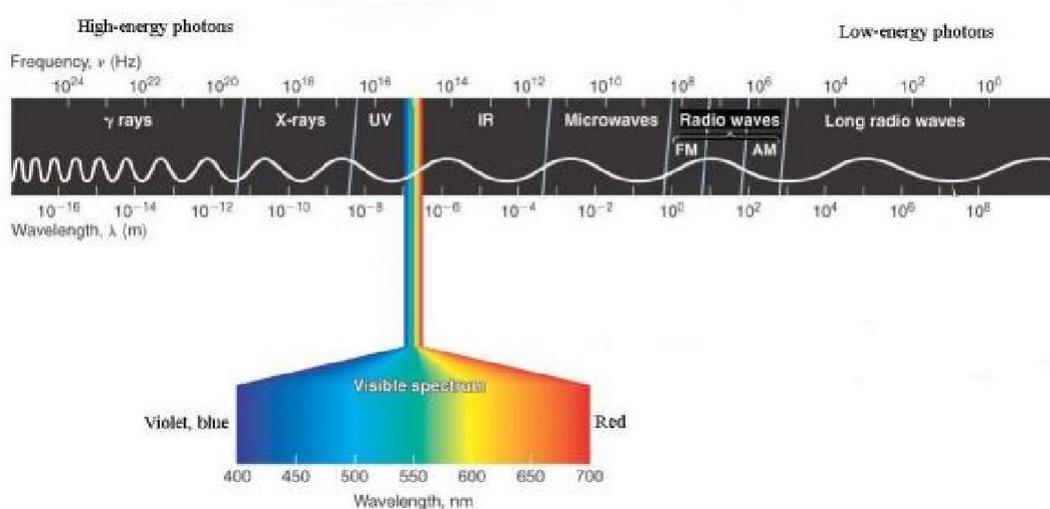


Figura 1. Espectro electromagnético de la luz.

Tomado de: (Jung, Mattsson & Bridges, 2008).

Una descripción física alternativa de la luz es considerar que la radiación se emite como partes discretas de la energía a las cuales se les llama fotones, que tienen una naturaleza dual, la de una partícula y una onda, teniendo en cuenta que el parámetro fundamental que describe una parte del espectro electromagnético de otro es la longitud de onda, que es la distancia entre los picos sucesivos de la onda.

Los niveles de energía de los fotones se pueden obtener midiendo su longitud de onda, la misma se representa por la letra griega lambda, la energía de un fotón es inversamente proporcional a su longitud de onda y directamente proporcional a su frecuencia, la frecuencia se mide en ciclos por segundo, entonces los rayos gamma consiste en fotones de muy alta energía con longitudes de onda más cortas y frecuencias más altas en comparación con las ondas de radio, por lo tanto, cuanto mayor sea el número de fotones emitidos mayor será su amplitud, para poder entender gráficamente estas diferencias, en la figura 2 que se presenta a continuación, se detalla dos ondas con diferente longitud de onda y amplitud.

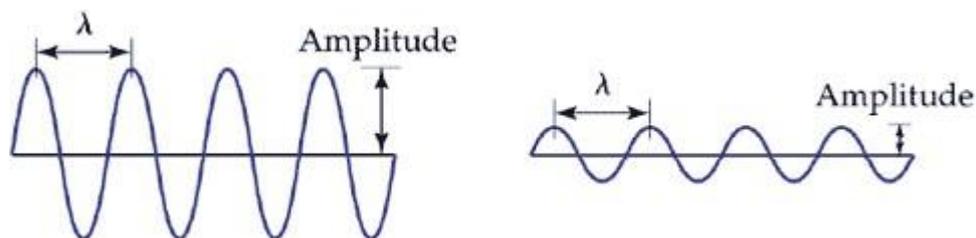


Figura 2. Ondas con diferente lambda y amplitud.

Tomado de: (Jung et al., 2008).

La característica de cada fuente de luz es su espectro, es decir, un gráfico de la energía radiante emitida en cada longitud de onda, dependiendo de las características del sistema emisor de luz, el espectro emitido puede ser amplio o tener líneas nítidas en ciertas longitudes de onda, como primer caso se tiene el sol, las lámparas incandescentes y halógenas, y está relacionado con la temperatura de la fuente, las lámparas usadas en iluminación deben cubrir el rango visible de longitudes de onda visibles para una percepción adecuada del blanco.

La luz es indispensable para la vida en el planeta y, en consecuencia, afecta a todos los seres vivos, en particular hay efectos físicos importantes a través de la interacción de la luz con nuestra piel y nuestra vista que conducen a la sensación de calor (luz roja) y frío (luz azul), así como los efectos secundarios a través de nuestra costumbre a los cambios periódicos de cada día y con la temporada que contribuyen a los ciclos de actividad y descanso (Jung et al., 2008).

### 3.2.2 Principales Medidas.

Para entender los conceptos que se detallarán a continuación es necesario conocer lo que representa un estereorradián, de esta manera se podrá conceptualizar de una forma óptima dichos conceptos.

El estereorradián es un ángulo sólido que corresponde a una esfera, siendo la superficie igual al cuadrado del radio de la esfera, a una magnitud sólida le corresponde un ángulo sólido o estéreo que es medido por un estereorradián, esto se logra visualizar en la figura 3 (E.T.S. Arquitectura, 2017).

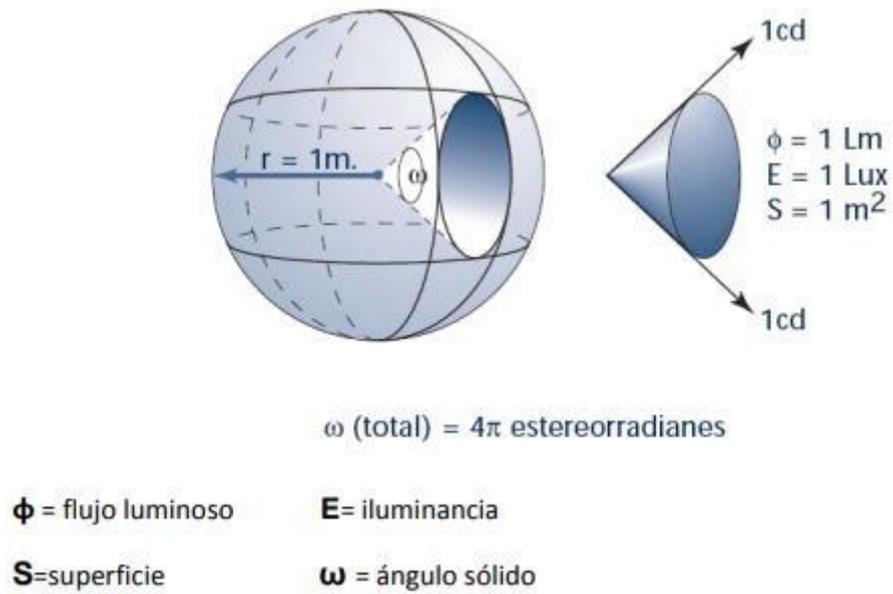


Figura 3. Angulo Sólido.

Tomado de: (E.T.S. Arquitectura, 2017).

### 3.2.2.1 Flujo Luminoso.

Se define como la potencia emitida en forma de radiación luminosa al que el ojo humano es sensible, siendo el lumen su unidad de medida (E.T.S. Arquitectura, 2017).

De esta manera se puede representar el flujo luminoso en la figura 4 que se presenta a continuación.

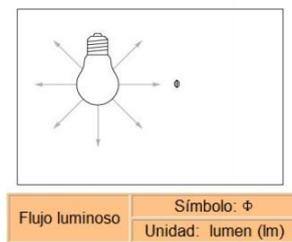


Figura 4. Flujo Luminoso.

Tomado de: (E.T.S. Arquitectura, 2017).

### 3.2.2.2 Intensidad Luminosa

Se define a la intensidad luminosa como la cantidad de flujo luminoso de cada uno de los rayos en una dirección por unidad de ángulo sólido, esta magnitud expresa la distribución del flujo luminoso en un espacio dado, siendo su unidad de medida la candela. Figura 5 (E.T.S. Arquitectura, 2017).

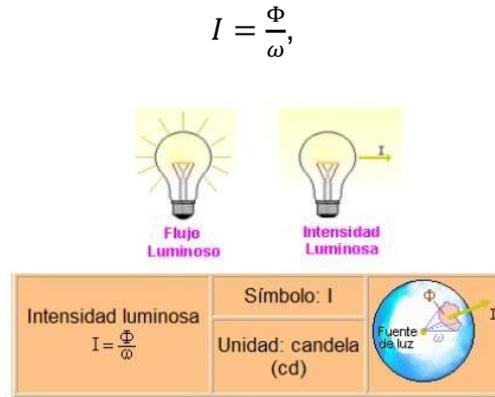


Figura 5. Diferencia entre flujo luminoso e intensidad luminosa

Tomado de: (E.T.S. Arquitectura, 2017).

### 3.2.2.3 Iluminancia

Se define a la iluminancia como la cantidad de flujo luminoso por unidad de área, como el flujo luminoso es medido en lúmenes y el área en metros cuadrados su unidad es  $\text{lm}/\text{m}^2$  o también conocido como luxes.

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

La figura 6 nos dará una idea clara sobre la iluminancia.

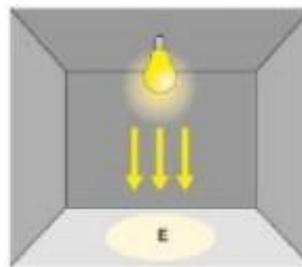


Figura 6. Definición de Iluminancia.

Tomado de: (E.T.S. Arquitectura, 2017).

La iluminancia depende de la distancia a la que se encuentre la fuente luminosa, este fenómeno es denominado a la ley de cuadrados inversos, la cual relaciona intensidad luminosa y distancia de la fuente, cuando la dirección del rayo de luz es perpendicular a la superficie.

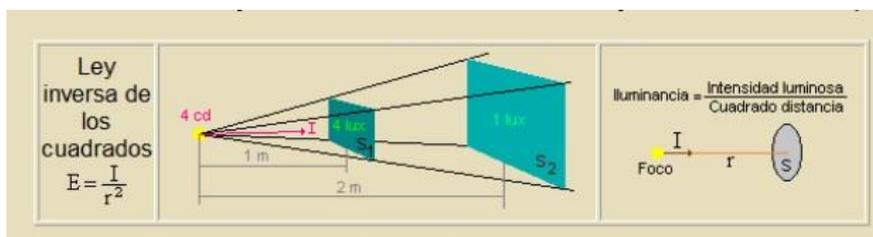


Figura 7. Ley inversa de los cuadrados.

Tomado de: (E.T.S. Arquitectura, 2017).

### 3.2.2.4 Luminancia

Se define como el efecto de luminosidad producida por una superficie en la retina del ojo, se toma como una relación entre la intensidad luminosa y una superficie aparente que es vista por el ser humano a un ángulo determinado, se tiene que la percepción de la luz es en realidad la percepción de distintas luminancias, así tenemos que el área proyectada es calculada multiplicando la superficie real iluminada por el coseno del ángulo que se forma con la dirección de la intensidad luminosa, siendo su unidad de medida la candela por metro cuadrado. Figura 8 (E.T.S. Arquitectura, 2017).

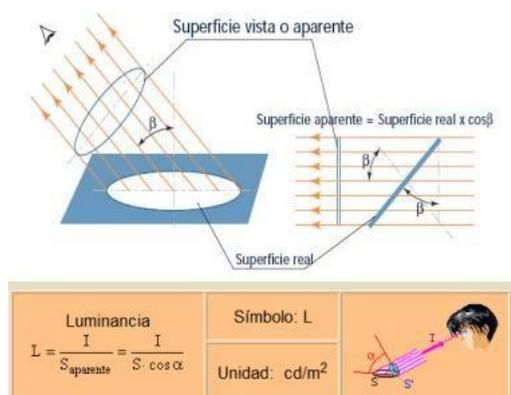


Figura 8. Luminancia de una superficie.

Tomado de: (E.T.S. Arquitectura, 2017).

### 3.2.2.5 Eficiencia Luminosa

Lo que hace muy interesante a la tecnología LED es su bajo consumo y su alta eficiencia, lo que quiere decir que gran parte de la energía que consumen se transforman en luz, dicha eficiencia es medida en lúmenes por vatio.

Según los autores (Gago, Calderón & Fraile, 2012). Hay tres parámetros que afectan al valor final de este parámetro las cuales son:

- Pérdidas de luz no reflejada hacia el exterior.

Una luminaria con un diseño eficiente deberá garantizar que todas las emisiones generadas en la lámpara se emiten al exterior. En las lámparas clásicas el uso de reflectores impone una pérdida que se deberían minimizar para las lámparas LEDs.

Incluso la instalación de reflectores en la luminaria supone pérdidas ópticas de la luminaria que se irán aumentando a medida que estas se ensucien o degraden con el tiempo.

- Pérdidas en el sistema óptico de la lámpara.

Cualquier recubrimiento en el que se incluyan los LEDs va a provocar una absorción por parte de la luz emitida, en mayor o menor medida en función de la opacidad de la misma. Cuanto más opaca sea para difuminar los puntos de luz mayores serán las pérdidas.

Los recubrimientos acrílicos totalmente transparentes con una misión exclusiva de protección mecánica tienen unas pérdidas ópticas estimado de un 5% en el mejor caso.

Las lentes de redistribución de la luz también tienen pérdidas; además, al igual que el resto de elementos de los equipos, pierde propiedades con el uso: las altas temperaturas que las que se pueden ver sometidas dentro de los equipos pueden llegar a amarillear las ópticas e incluso deformarlas ligeramente con lo que las propiedades ópticas de las lentes se modifican sustancialmente.

- Pérdidas en el driver o en la fuente de alimentación.

La alimentación de los LEDs se realiza con corriente continua y para unos

valores de trabajo que dependen de cómo se conectan los diferentes LEDs de la matriz. En función del número de LEDs que se conecten en serie mayor será la tensión de alimentación que se debe suministrar para alcanzar la corriente nominal del funcionamiento.

En función de los parámetros de salida de la fuente y de la calidad del diseño y de los componentes con la que se haya fabricado el rendimiento eléctrico de este equipo de conversión desde corriente alterna puede ir desde el 92-93% hasta valores muy bajos entre el 60-70%.

En la figura 9 se puede observar el rendimiento luminoso de una lámpara.

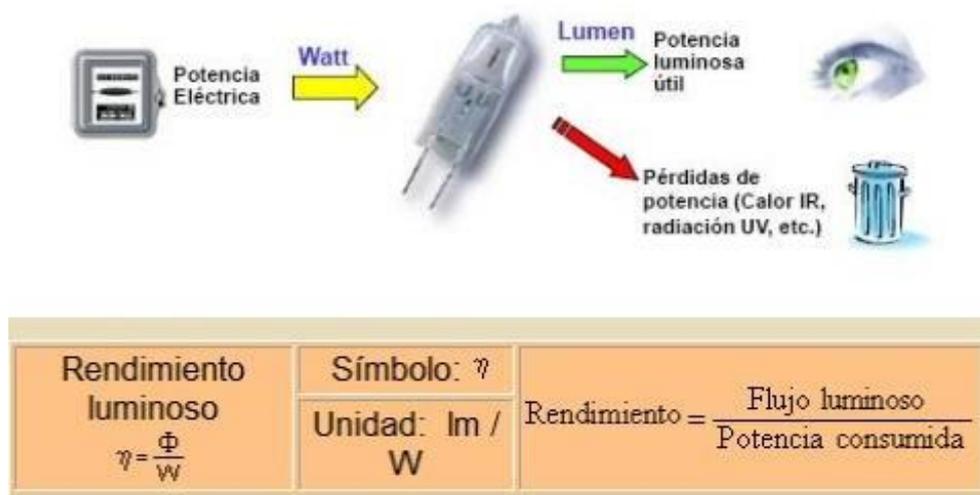
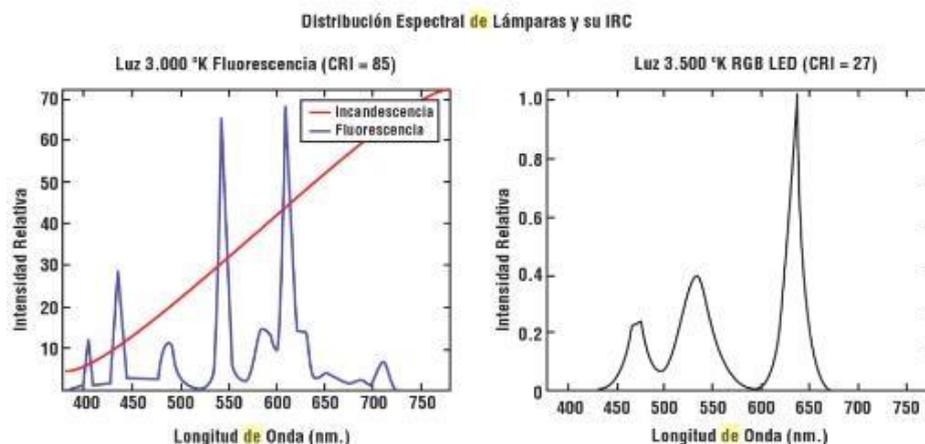


Figura 9. Eficiencia Luminosa

Tomado de: (E.T.S. Arquitectura, 2017).

### 3.2.2.6 Índice de reproducción cromática (IRC).

Se define al índice de reproducción cromática como el efecto que tiene la fuente de luz para poder percibir los colores del entorno por el ojo humano, esto quiere decir que es un parámetro que se puede medir, comprendiendo valores entre 0 y 100 tomando como referencia la luz solar que se obtiene al medio día, es decir, en ese instante se obtendrá el 100, lo que quiere decir, que en ese momento ese es el color real del objeto, para tal efecto se destaca una comparativa entre una lámpara incandescente y una fluorescente, la misma que se detalla en la figura 10 (Gago et al., 2012).



*Figura 10.* Comparativa de las distribuciones espectrales de la lámpara de referencia para el cálculo del IRC con una lámpara fluorescente y una lámpara LED.

Tomado de: (Gago et al., 2012).

Habiendo mencionado los conceptos generales se puede destacar las características principales que se verifican en las lámparas, la misma que se detalla a continuación en la tabla 1.

Tabla 1.

*Comparativa de las características de las fuentes de luz más usadas en iluminación.*

**Tabla comparativa de las características de las fuentes de luz actualmente más usadas en iluminación**

<b>Tipo de Lámpara</b>	<b>Eficacia (lm/W)</b>	<b>Tiempo de Vida (h)</b>	<b>IRC</b>
<b>Halógena</b>	20	1.200	<b>100</b>
<b>Halogenuros metálicos</b>	70-108	15.000	<b>90</b>
<b>Fluorescente</b>	60-100	8.000	<b>80</b>
<b>Sodio baja presión</b>	120-200	16.000	<b>25</b>
<b>Sodio alta presión</b>	95-130	28.000	<b>45</b>
<b>LED</b>	<b>90-120</b>	<b>&gt;50.000</b>	<b>&gt;75</b>

Tomado de: (Herranz et al., 2017).

### 3.2.2.7 Temperatura de color

Todo objeto emite radiación y esta será mayor si su temperatura es mayor, por

lo tanto, si la temperatura es baja esta radiación es infrarroja, lo que quiere decir que es imperceptible al ojo humano, pero cuando el material se encuentra suficientemente caliente, la radiación que empieza a emitir está dentro del espectro visible, que, al principio será de color rojo y a medida que la temperatura aumenta, su color puede llegar al azul o incluso el color púrpura. Figura 11 y 12 (Gago et al., 2012).



Figura 11. Muestrario de emisiones visibles de un cuerpo negro.

Tomado de: (Gago et al., 2012).

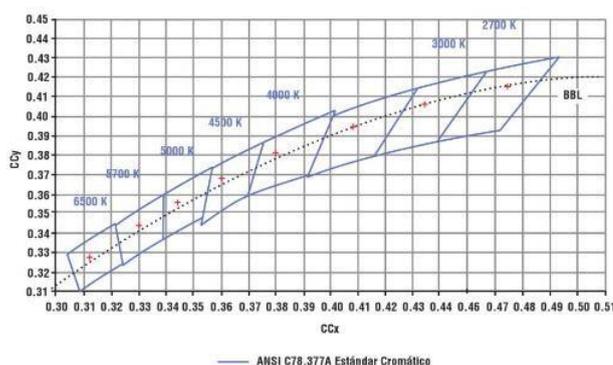


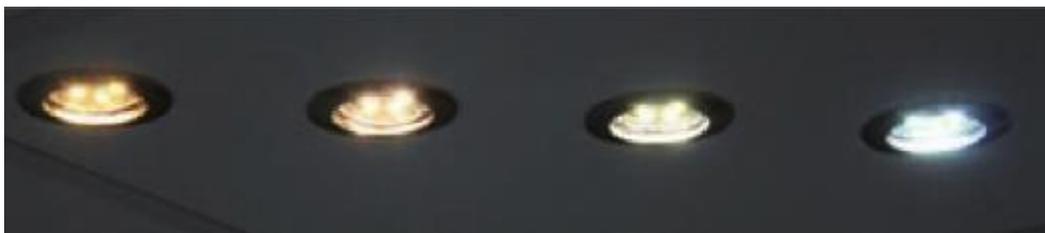
Figura 12. Curvas de emisión luminosa de un cuerpo negro en función de su temperatura.

Tomado de: (Gago et al., 2012).

Los fabricantes de la tecnología LED ofrecen una amplia gamma en sus tonalidades de color, los mismos comprenden entre 2700 °K y 10000°K, se han clasificado a estas temperaturas en grupos denominados bins, de esta manera los fabricantes garantizan que su color no se modifique de manera significativa de acuerdo al número de horas que han estado en funcionamiento, y de igual manera, esto asegura que todo el grupo de LED's se atenúen de igual manera evitando así que el observador logre distinguir diferentes tonos de LED dentro de un mismo grupo. Figura 13 (Gago et al., 2012).

La selección de una correcta temperatura de color puede ayudar mucho con la

salud humana, la productividad y el humor del individuo ya que, esta selección adecuada favorece las condiciones laborales puesto que se disminuye las patologías que se asocian a una mala iluminación y fomentan la productividad que inclusive pueden prevenir trastornos afectivos estacionales de las personas (Gago et al., 2012).



*Figura 13.* Ejemplos de lámparas LED con diferente temperatura de color.  
Tomado de: (Gago et al., 2012).

### **3.2.3 Eficiencia Energética**

La eficiencia energética es consumir una menor cantidad de energía primaria manteniendo la misma calidad de energía y, puntualmente en este caso, obtener iguales o mejores prestaciones de iluminancia a menor consumo.

La eficiencia energética es la relación entre los servicios de energía y la entrada de energía, es decir, es aprovechar al máximo cada unidad de energía que se paga, por lo que generalmente es un subproducto de otros objetivos sociales como la productividad, comodidad, ahorro monetario, entre otros (Herring, 2006).

Un artículo publicado en el año de 1999 describió las opiniones de varios economistas de la energía, ellos afirman que la eficiencia energética ha ido aumentando microeconómico, sin embargo, de lo contrario que sucede a nivel macroeconómico se estima el aumento del uso de esta energía, sus argumentos han sido respaldados por el registro histórico de la mayoría de aquel siglo (Herring, 2006).

Para ilustrar el gran crecimiento que ha tenido la eficiencia energética cabe recordar que en décadas anteriores la eficiencia lumínica era muy baja, lo que representaba una menor cantidad de lúmenes por vatio por cada luminaria existente, esto implicaba que, para obtener los niveles adecuados de

iluminación, era necesario tener mayor cantidad de luminarias, lo que se tenía como consecuencia de un mayor número de luminarias era un mayor consumo energético.

### **3.2.4 Internet de las cosas (IoT)**

No existe una definición única disponible para el internet de las cosas que sea aceptable para los usuarios, de hecho, hay diferentes grupos de, investigadores, académicos, desarrolladores, profesionales y personas corporativas que han definido ese término, sin embargo, su uso inicial se atribuye a Kevin Ashton, un experto en innovación digital, cabe mencionar que lo que todas las definiciones tienen en común es la idea de que la primera versión del internet trata sobre datos creados por las personas, mientras que en la próxima versión se trata de datos creados por las cosas, por tanto se podría definirla como una red abierta y compleja de objetos inteligentes que tienen la capacidad de autoorganizarse, compartir datos, información y recursos, reaccionando y atenuando ante cambios del entorno.

El internet de las cosas es considerado muy importante en el mercado actual, se caracteriza por ser muy completa con una interoperabilidad integral e inteligente, ya que estas tecnologías pueden facilitar de manera efectiva la integración de la producción de material y gestión de servicios, la integración del mundo físico y el mundo digital (Zhu, Wang, Chen, Liu & Qin, 2010).

En 1999 MIT Auto-ID Labs, propuso por primera vez el concepto de internet de las cosas para la realización de localización de objetos y reconocimiento de estados mediante sensores inalámbricos mediante redes y tecnologías de identificación por radio frecuencia, en el 2005 la ITU propone formalmente el concepto de internet de las cosas, en donde los dispositivos de todo el mundo pueden intercambiar información a través de las redes, con este concepto en el 2009 IBM presenta el concepto de “Smart Planet” en donde se pretende incrustar sensores en varios objetos físicos como la red eléctrica, ferrocarriles, edificios y de esta manera hacerlos inteligentes por tecnologías de procesamiento inteligentes (Zhu et al., 2010).

Desde el punto de vista de TI, internet de las cosas es un gran sistema de

información global compuesto por cientos de millones de objetos que pueden ser identificados, detectados y procesados basándose en protocolos de comunicación estandarizados e interoperables, y gracias al apoyo de la comunicación móvil de banda ancha, redes de siguiente generación y tecnologías cloud computing, el sistema IoT puede procesar de manera inteligente el estado de los objetos, proporcionando así gestión y control para la toma de decisiones e incluso hacer que operen entre sí de manera autónoma sin la necesidad de la intervención humana.

El internet es utilizado principalmente en la transmisión de información entre las personas, mientras que WSN realiza la comunicación a corta distancia entre los objetos construyendo una red inalámbrica de manera ad-hoc, sin embargo se hace difícil interconectar las redes de comunicación móvil y WSN o internet entre sí ya que carecen de una estandarización uniforme en protocolos de comunicación y detección, ya que, las comunicaciones WSN no se pueden transmitir a largas distancias, por lo tanto con el internet de las cosas nace una nueva convergencia entre las redes y el dispositivo encargado de esta convergencia es llamado como internet of things Gateway, además es necesario construir un conjunto de instrucciones uniformes y estandarizadas para todos los Gateway de IoT y de esta manera poder obtener todas las funcionalidad que ofrece IoT.

La aplicación del internet de las cosas cubre la logística SmartMeter, edificios inteligentes, etc., una aplicación típica de IoT es un hogar inteligente, en el cual se encuentran sensores, electrodomésticos, luces, comunicaciones de red y equipos de automatización para lograr proporcionar un ambiente de vida cómodo, seguro, verde y conveniente, esto gracias al Gateway de IoT, ya que en el lado de la casa interconecta varios dispositivos inteligentes juntos para formar una red en el hogar y que estos puedan compartir recursos e información, por el otro lado permite conectarse de manera directa hacia la red desde cualquier punto en el que se encuentre el usuario. Figura 14

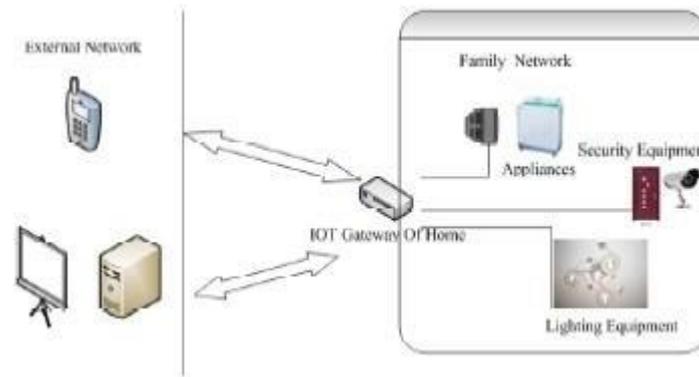


Figura 14. Escenario usado en una casa inteligente.

Tomado de: (Zhu et al., 2010).

En la capa de percepción, el sistema tiene como objetivo adquirir, recopilar y procesar los datos del mundo físico que consta de dos partes que son el dispositivo sensor y las redes inalámbricas de sensores, en el primero se incluye una etiqueta RFID, nodos de los sensores, etc., en el segundo trata de una red inalámbrica autoorganizada en el cual se encuentran muchos nodos de sensores distribuidos en un área extensa, estos dispositivos supervisan de manera coordinada el estado del entorno físico recogiendo los datos y luego enviando los mismos a la siguiente capa utilizando RFID, bluetooth, ZigBee u otras tecnologías. Figura 15.

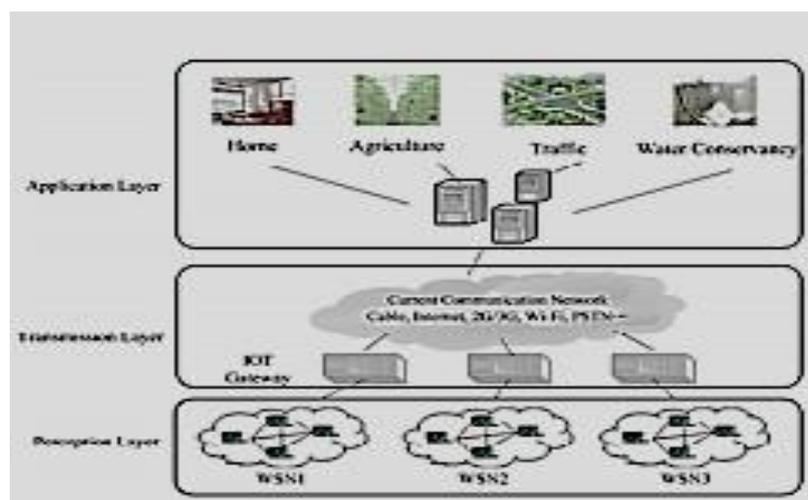


Figura 15. Arquitectura de la aplicación típica de IoT.

Tomado de: (Zhu et al., 2010).

Actualmente el internet de las cosas está madurando y ha llamado la atención debido a la infraestructura globalizada de los objetos físicos en red, permitiendo la conectividad en cualquier momento, en cualquier lugar y para cualquier cosa, permitiendo de esta manera ya una conexión entre el ser humano y un objeto (Madakam, Ramaswamy & Tripathi, 2015).

### **3.2.5 ZigBee**

ZigBee es un estándar que define un conjunto de protocolos de comunicación para bajas velocidades de datos de redes inalámbricas de alcance reducido, estos dispositivos funcionan en 868 MHz en banda de frecuencia de 915 MHz y 2.4 GHz con una velocidad máxima de 250 Kbps, están principalmente dirigidas a aplicaciones que funcionan con baterías, donde la velocidad de datos, su bajo costo y su larga duración son los requisitos principales (Farahani, 2008).

En varias aplicaciones de dispositivos inalámbricos ZigBee el tiempo total que dedica a cualquier tipo de actividad es muy limitado, por lo que el dispositivo permanece gran parte de su tiempo en modo de ahorro de energía, por esta razón, los dispositivos pueden durar muchos años antes de realizar el cambio de sus baterías.

El estándar ZigBee es desarrollado por ZigBee Alliance, el cual está conformado por cientos de empresas, esta organización se formó en el 2002 como una organización sin fin de lucro y está abierto a todos los que deseen unirse, siendo el estándar adoptado por el mismo el IEEE 802.15.4 como su capa física y MAC.

El concepto de utilizar comunicación inalámbrica para la recopilación de información o para la realización de ciertas tareas no es un tema nuevo, existen varios estándares dedicados al mismo campo, incluido el estándar IEEE 802.11 más comúnmente conocido como WLAN y el estándar 802.15.1 designado al bluetooth, con varias ventajas, sin embargo el estándar ZigBee es desarrollado específicamente para abordar la necesidad de una implementación de bajo costo de redes inalámbricas a una baja velocidad de transmisión y con un consumo de energía muy reducido.

Comparar el estándar ZigBee con bluetooth y con WLAN ayudará a comprender de mejor manera la diferencia que existen entre los mismos, el estándar 802.11 funciona en la nada de 2.4 GHz al igual que bluetooth y ZigBee, sin embargo tiene una alta transmisión de datos proporcionando una conexión estable a internet con un rango de conexión que oscila entre 30 y 100 metros de distancia, bluetooth por otro lado tiene una velocidad más baja de transmisión de datos llegando a alcanzar distancias de 2 a 10 metros, ZigBee por su parte tiene una transmisión de datos aún más baja lo que proporciona una duración de batería significativamente más larga, lo que significa que debido a su baja tasa de transmisión no es adecuado para conexiones como audífonos inalámbricos o una conexión a internet, por lo que su objetivo se basa en transmitir y recibir mensajes simples de sensores de humedad, de temperatura, entre otros, de esta manera ZigBee es la solución más rentable por temas de potencia frente a bluetooth y WLAN, como se puede observar en la figura que se encuentra a continuación. Figura 16 (Farahani, 2008).

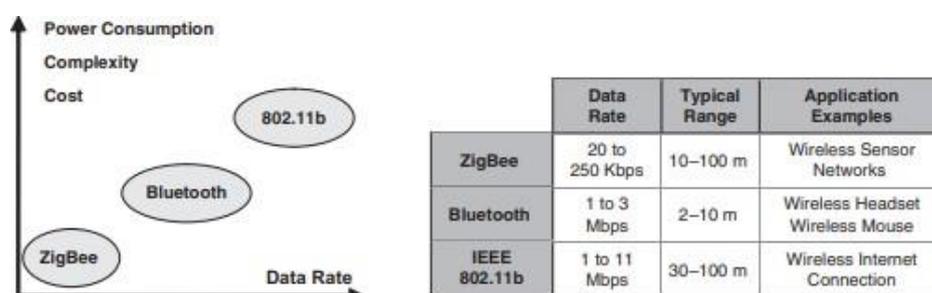


Figura 16. Comparación del estándar ZigBee con bluetooth y WLAN.

Tomado de: (Farahani, 2008).

#### 4 ESTADO DEL ARTE

Según (Tang, Kalavally, Ng & Parkkinen, 2017), como los teléfonos inteligentes son cada vez más potentes y versátiles, es posible integrarlos con una red de iluminación inteligente, siendo capaces de aumentar la comodidad y la eficiencia energética, de esta manera, presentan un prototipo de iluminación inteligente con características de seguridad mejoradas para hogares inteligentes, una aplicación en Android hizo uso del sensor de luz ambiental incorporado en el teléfono para ejecutar un nuevo algoritmo de retroalimentación de circuito

cerrado para implementar una recolección de iluminación diurna, en donde, un análisis de costos muestra que toda la configuración del sistema es un poco más barata que los productos comerciales, y, debido a sus capacidades tiene potencial para un ahorro a largo plazo, superando así los productos comerciales actuales.

Además (Chew, Karunatilaka, Tan & Kalavally, 2017), indican que el impulso de las redes ubicuas y la interconectividad de dispositivos en los edificios y en los hogares, impulsan el desarrollo de nuevos dispositivos inteligentes con sensores y conexión inalámbrica que puede recopilar, procesar e intercambiar datos, a estas interacciones se le conoce como internet de las cosas, en la actualidad los sistemas de control de iluminación son de un interés muy particular al introducir un control autónomo de la luz a través de la retroalimentación de sensores integrados, datos del usuario y servicios en la nube, lo que trae consigo una serie de beneficios que incluyen un mayor ahorro de energía, funcionalidad mejorada y una iluminación centrada en el usuario, presentando una revisión de las opciones de conectividad de iluminación inteligente.

(Bhardwaj, Ozcelebi, Verhoeven & Lukkien, 2011), hablan que la iluminación inteligente se centró tradicionalmente en luminarias convencionales, sin embargo, la iluminación de estado sólido ofrece un mejor control de espectro, polarización espacial, temporal y propiedades de color del luz, combinando con los desarrollos en entornos inteligentes y utilizando diodos LED se crea un nuevo playground para la interacción entre el usuario y la luz, es de esta manera que se propone implementar un modelo en una red inalámbrica de sensores, siendo los sensores de luz quienes brindan servicios para detectar cambios de iluminación y ajustan dinámicamente el brillo de la luminaria según las preferencias del usuario en varios escenarios, como al ver televisión o leer, todo esto independientemente de las variaciones de la luz natural o externa.

(Higuera, Hertog, Peralvarez, Polo & Carreras, 2015), indican que los sistemas de iluminación inteligentes van más allá de solo sustituir las lámparas, estos sistemas modernos pueden reproducir espectros arbitrarios, temperaturas de color y diferentes intensidades de iluminación e interactuar con sensores

inteligentes y actuadores que incorporan tecnologías de la información y la comunicación, pues se presenta una solución de iluminación inteligente interoperable que combina tecnologías de iluminación heterogéneas que permiten funciones inteligentes como el cambiar la intensidad de luz para la comodidad visual que se orientan al estudio de iluminación centrados en el ser humano, además de seguir los estándares ISO, IEC, IEEE 21451 y ZigBee, incluyendo un servicio adicional de tratamiento de señal del transductor para algoritmos de inteligencia artificial, presentando finalmente una prueba de interoperabilidad y visualizar de esta manera el ahorro de energía en una sala de oficina.

(Sung & Lin, 2013), proponen sobre el desarrollo de un sistema inteligente de iluminación LED, que pueda ser controlado por medio de una aplicación Android por cualquier dispositivo móvil, los cuales reflejan el uso de energía en lecturas que se muestran en el dispositivo portátil y se trata de un criterio de diseño de un sistema de iluminación.

Se tiene un multímetro, un dimmer Wireless, un módulo remoto de aprendizaje infrarrojo, entre otros, que se encuentra conectados a un servidor mediante RS232/485 y una interfaz de computador en una pantalla táctil, la comunicación de los datos es diseñado para operar de acuerdo al estándar de comunicaciones ZigBee y el procesamiento de los datos son detectados a través de un algoritmo de fusión de datos auto adaptativo, en este sistema de iluminación LED inteligente se puede habilitar el uso de un control remoto o en modo autoaprendizaje mediante el dispositivo portátil a través de una transmisión WiFi, por lo tanto se valida esta propuesta, incluso se puede validar para el monitoreo de energía de electrodomésticos y se presenta como una red domestica digital para una buena eficiencia energética.

Sin embargo en revisión de estas tecnologías frente a la que se propone implementar, se puede mencionar la facilidad de obtener la aplicación encargada de controlar las luminarias y los sensores, la cual está disponible tanto en Android como en iOS, además de poder ingresar mediante un computador, dicha aplicación facilita al usuario un control totalmente personalizado en donde se

encontrará cada dispositivo conectado en esa red que puede ser, una luminaria, un sensor o un switch inteligente, además de ofrecer un análisis de consumo energético, control de iluminación y calendarios para poder configurar las luminarias de manera óptima y a gusto del usuario (Philips, 2019).

## **5 DESARROLLO Y DISEÑO**

### **5.1 Análisis de requerimientos**

El consumo de energía en iluminación es extremadamente alto, ya que las luminarias pueden pasar encendidas varias horas al día, y en varias ocasiones de manera innecesaria, ya que, en los pasillos generalmente al encontrarse los estudiantes en sus aulas de clase, esta energía que se utiliza al tener encendidas las luminarias a un nivel del 100% es totalmente desperdiciada, incluso en aulas que no se tenga clase o en aulas que de alguna manera aun haya algo de luz natural o luz externa que de alguna manera pueda ayudar a mantener un nivel adecuado de iluminación.

El sistema propuesto, pretende optimizar este uso innecesario de energía dimerizando de manera automática las luminarias que serán instaladas, para ello es necesario realizar un diseño adecuado de iluminación, en donde tendremos una cantidad de luxes estables en cada aula sin la necesidad de que la energía eléctrica sea siempre constante, es decir, si se detecta luz externa que ayuda a que el nivel de iluminación en el área de una aula sea la adecuada, el sistema reducirá el nivel de luz artificial para mantener un ambiente adecuado, de manera distinta se realizará en los pasillos, ya que no se considera necesario que las luminarias siempre se encuentren encendidas mientras los alumnos están en clases, es por esta razón que se propone, mediante un sensor de ocupación, dimerizar el nivel de luz, solamente cuando los estudiantes se encuentren circulando por los pasillos, caso contrario, las luminarias estarán en modo de ahorro de energía, quedando la luminaria a un nivel de iluminación mucho menor, pero no totalmente apagadas, lo que genera un entorno interactivo y amigable para los usuarios.

El sistema necesita de un puerto de red para poder establecer las comunicaciones de nuestras luminarias con nuestra aplicación, la cual se puede

obtener en app store o en play store, dependiendo del sistema operativo que se maneje en cada teléfono celular, de esta manera incluso se puede interactuar de manera sencilla y cómoda con las luminarias conectadas (Philips, 2019).

Para implementar las luminarias de manera óptima se realizará un diseño previo mediante el software DiaLux, el mismo que fue mencionado en el capítulo II del presente documento, este software ayudará a evidenciar que la iluminación en el aula 464 sea la adecuada, además de utilizar un luxómetro que permitirá visualizar en dicha aula la cantidad de luxes proporcionados por las nuevas luminarias.

Para efectuar el diseño óptimo, se basa los niveles de iluminación de acuerdo con las recomendaciones que se podrán verificar en la tabla 2 que se presenta a continuación.

Tabla 2.

*Niveles de iluminación recomendados para establecimientos educativos y asistenciales.*

<b>Tipo de recinto</b>	<b>Iluminancia [Lux]</b>
Atención administrativa	300
Bibliotecas	400
Cocinas	300
Gimnasios	200
Oficinas	400
Pasillos	100
Policlínicos	300
Salas de cirugía menor	500
Salas de cirugía mayor, quirófanos (*)	500
Salas de clases, párvulos	150
Salas de clases, educación básica	200
Salas de clases, educación media	250
Salas de clases, educación superior	300
Salas de Dibujo	600

Tipo de recinto	Iluminancia [Lux]
Salas de espera	150
Salas de pacientes	100
Salas de profesores	400

Tomado de: ("National Optical Astronomy Observatory", s.f.).

## 5.2 Estado Actual

El bloque cuatro cuenta actualmente con las siguientes características.

Subsuelo:

En la figura 17 se puede observar el plano correspondiente al subsuelo.

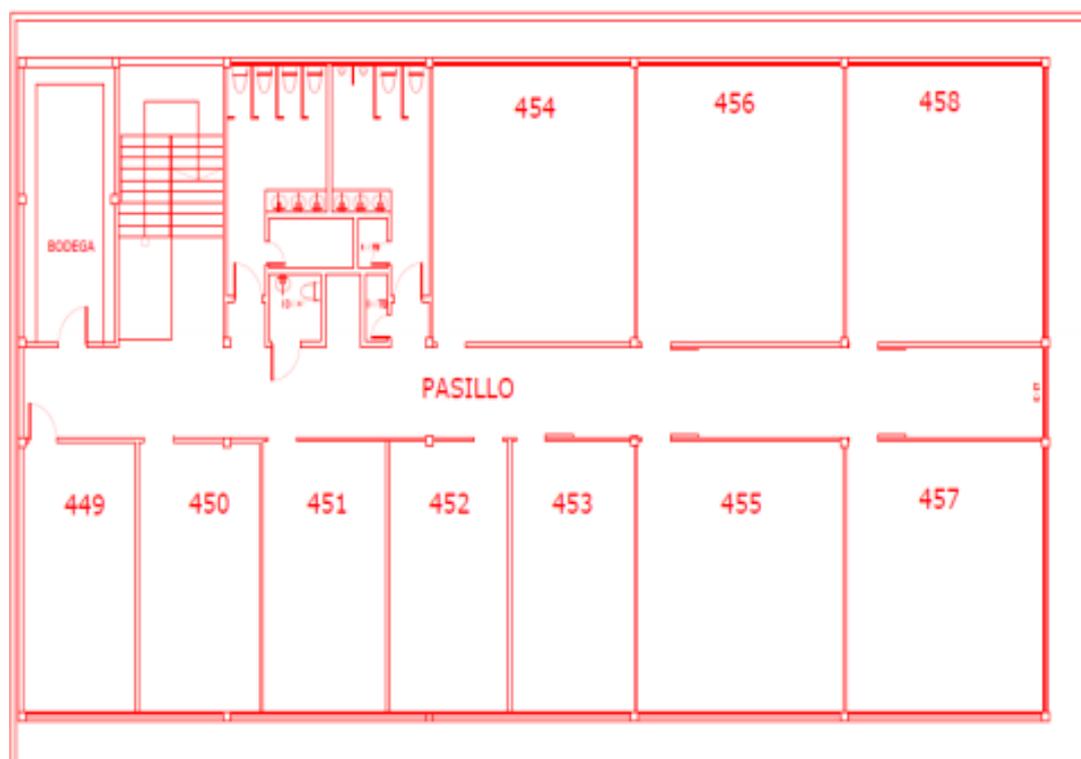


Figura 17. Plano del subsuelo del bloque cuatro, sede Queri-UDLA.

Tomado de: (Pérez & Fustillos, 2018).

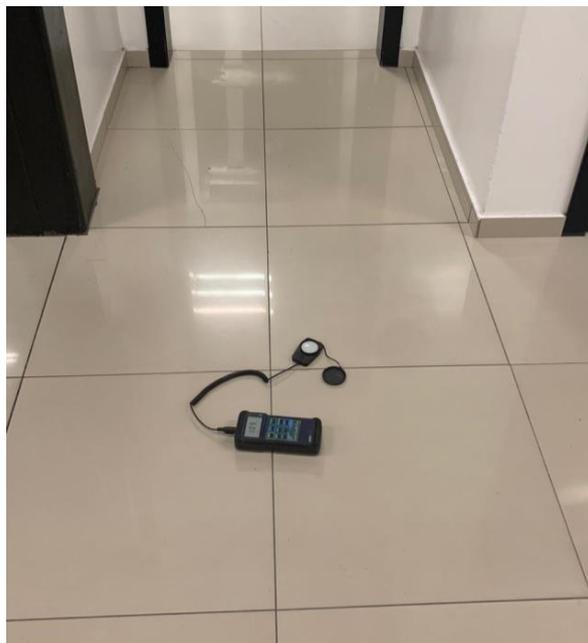
En la tabla 3 se puede verificar la cantidad de luminarias que se encuentran en el subsuelo.

Tabla 3.

*Número de luminarias ubicadas en el subsuelo del bloque cuatro de la sede Queri-UDLA.*

<b>SECTOR</b>	<b>NÚMERO DE LUMINARIAS</b>
Aula 449	2 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 450	2 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 451	2 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 452	2 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 453	2 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 454	6 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 455	6 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 456	6 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 457	6 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 458	6 luminarias 2x32 fluorescentes
Pasillo	15 luminarias 2x32 fluorescentes
Baño de hombres	5 luminarias 3x17 fluorescentes
Baño de mujeres	5 luminarias 3x17 fluorescentes

En las siguientes figuras, se presentan los resultados correspondientes a la iluminación que se ha obtenido en el subsuelo.



*Figura 18.* Medición de los puntos de iluminación en el subsuelo (pasillo).



*Figura 19.* Medición en los puntos de iluminación en el subsuelo (pasillo).



Figura 20. Medición de los puntos de iluminación en el subsuelo (aulas).



Figura 21. Medición de los puntos de iluminación en el subsuelo (aulas).

Las mediciones tomadas en el subsuelo tienen un promedio de 108 luxes en el pasillo y de 138 luxes en las aulas.

Planta Baja:

En la figura 22 se puede observar el plano correspondiente a la planta baja del bloque cuatro de la sede Queri-UDLA.



*Figura 22.* Plano de la planta baja del bloque cuatro, sede Queri-UDLA.

Tomado de: (Pérez & Fustillos, 2018).

En la tabla 4 se puede verificar la cantidad de luminarias de la planta baja del bloque cuatro de la sede Queri-UDLA.

Tabla 4.

*Número de luminarias instaladas en la planta baja del bloque cuatro, sede Queri-UDLA.*

SECTOR	NÚMERO DE LUMINARIAS
Aula 460	8 luminarias 2x32 fluorescentes

SECTOR	NÚMERO DE LUMINARIAS
Aula 461	8 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 462	6 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 464	6 luminarias 2x32 fluorescentes
Datacenter experimental	5 luminarias 2x32 fluorescentes
Laboratorio de Aguas	10 luminarias 2x32 fluorescentes
Laboratorio de Producción industrial	18 luminarias 2x32 fluorescentes
Laboratorio de Ecotoxicología	16 luminarias 2x32 fluorescentes
Laboratorio de Biología molecular	16 luminarias 2x32 fluorescentes
Pasillo	20 luminarias 2x32 fluorescentes
Baño de Hombres	5 luminarias 3x17 fluorescentes
Baño de Mujeres	5 luminarias 3x17 fluorescentes

En las figuras a continuación se presentan los datos de iluminación tomados de la planta baja.



Figura 23. Medición de los puntos de iluminación en la planta baja.



*Figura 24.* Medición de los puntos de iluminación en la planta baja.



*Figura 25.* Medición de los puntos de iluminación en la planta baja.



*Figura 26.* Medición de los puntos de iluminación en la planta baja.

Una vez realizadas las mediciones se verifica que se tiene un promedio de 91 luxes en el pasillo y 145 luxes en las aulas.

Planta Alta:

En la figura 27 se presenta el plano correspondiente a la planta alta del bloque cuatro de la sede Queri-UDLA.



Figura 27. Plano de la planta alta, bloque cuatro, sede Queri-UDLA.

Tomado de: (Pérez & Fustillos, 2018).

En la tabla 5 se puede verificar la cantidad de luminarias de la planta alta del bloque cuatro de la sede Queri-UDLA.

Tabla 5.

*Número de luminarias instaladas en la planta alta del bloque cuatro, sede Queri-UDLA.*

SECTOR	NÚMERO DE LUMINARIAS
Sala de docentes	41 luminarias 3x17 fluorescentes
UITEC	11 luminarias 3x17 fluorescentes

SECTOR	NÚMERO DE LUMINARIAS
Aula 476	6 luminarias 2x32 fluorescentes
Aula 477	6 luminarias 3x17 fluorescentes
Aula 478	6 luminarias 3x17 fluorescentes
Aula 479	6 luminarias 3x17 fluorescentes
Aula 480	6 luminarias 3x17 fluorescentes
Aula 481	6 luminarias 3x17 fluorescentes
Pasillo	30 luminarias 3x17 fluorescentes
Baño de hombres	5 luminarias 3x17 fluorescentes
Baño de mujeres	5 luminarias 3x17 fluorescentes

En las gráficas siguientes se puede observar los datos de iluminación tomados de la planta alta.



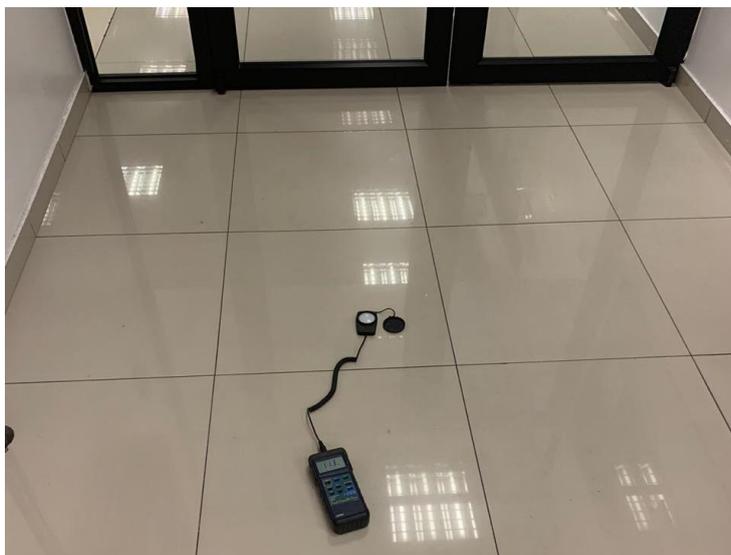
*Figura 28.* Medición de iluminación en la planta alta.



Figura 29. Medición de iluminación en la planta alta.

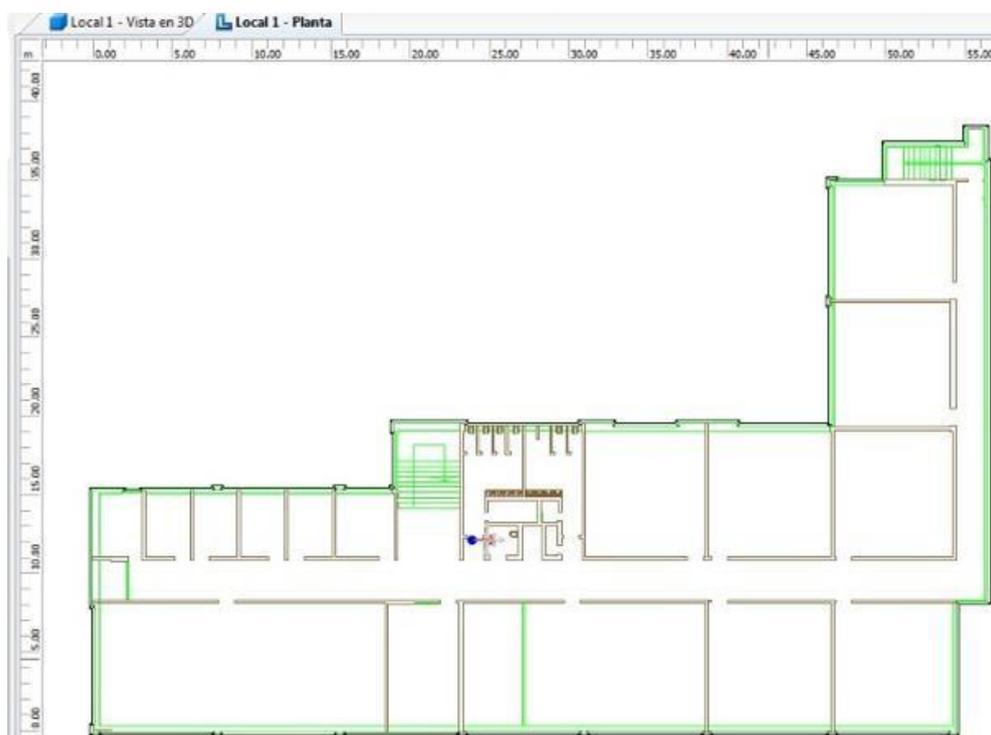


Figura 30. Medición de iluminación en la planta alta.



*Figura 31.* Medición de iluminación en la planta alta.

Gracias al software DiaLux, se puede realizar los diseños de iluminación correspondientes a cada sector, de esta manera se puede observar en las siguientes graficas el diseño realizado para cada piso del bloque 4 de la sede Queri-UDLA.



*Figura 32.* Inicio del diseño (subsuelo).

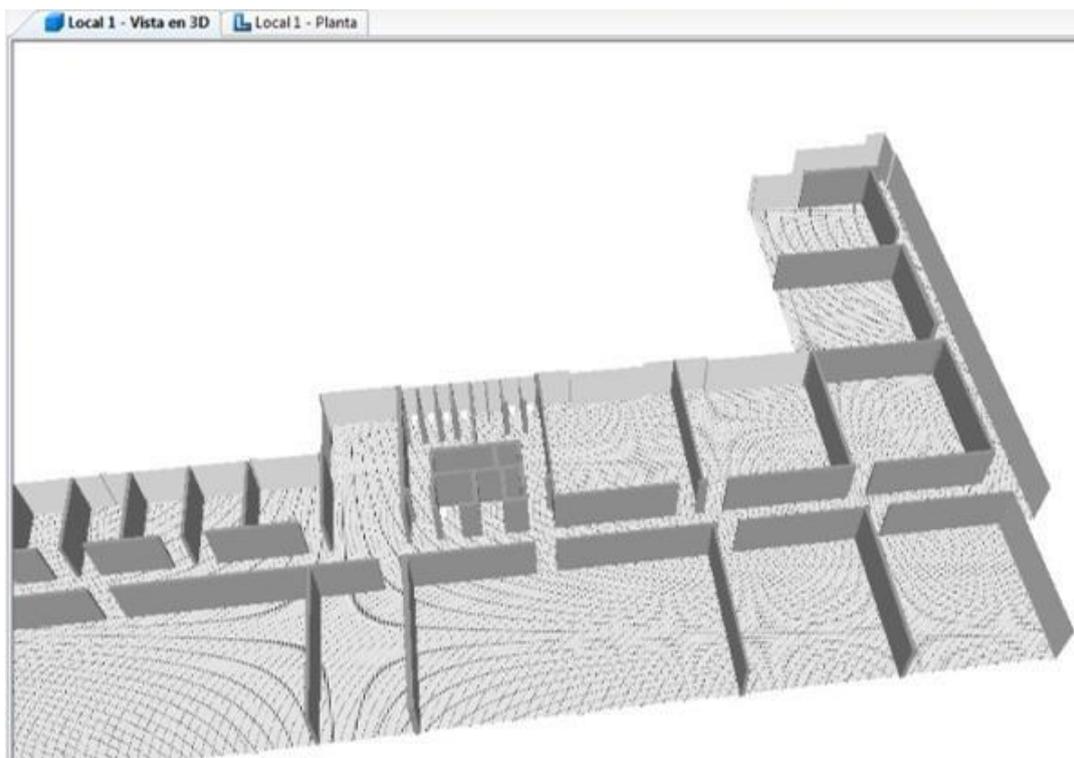


Figura 33. Selección de texturas para un cálculo más preciso.

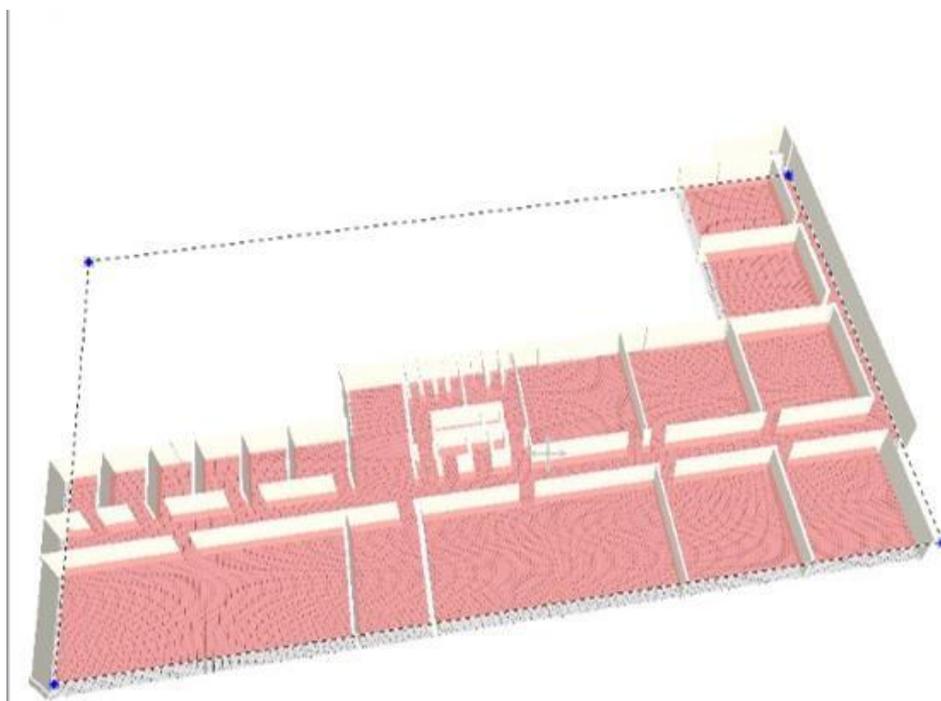


Figura 34. Colocación de una superficie para el cálculo de iluminación.

En la siguiente tabla, se puede apreciar las horas teóricas de consumo del aula 464, de acuerdo con las horas que se imparten clases.

Tabla 6.

*Horas teóricas de luminarias encendidas para el semestre actual.*

<b>HORAS TEÓRICAS DE LUMINARIAS ENCENDIDAS</b>					
L	M	X	J	V	TOTAL
6:15	7:20	6:15	8:30	3:00	31:20

En la tabla 7 se puede verificar el consumo actual que tiene el aula 464 con su iluminación convencional, el número de luminarias se detalla en la tabla 4 de la sección 5.2 del presente documento.

Tabla 7.

*Consumo de las luminarias del aula 464.*

<b>CONSUMO ANTERIOR DEL AULA 464</b>						
Potencia de cada luminaria	Número de luminarias	Potencia total de luminarias [Kw]	Número de horas	Energía consumida por semana [kWh]	VALOR EN USD POR SEMANA	VALOR EN USD POR MES
64 W	6	0,384	31:20	11,9808	\$1,23	\$4,92

Para obtener los resultados descritos en la tabla 7, las fórmulas que se utilizan son las siguientes:

$$P_{Tlum} = P_{clum} * N_{lum}$$

Donde:

$$P_{Tlum} = \text{Potencia total de luminarias [kW]}$$

$$P_{clum} = \text{Potencia de cada luminaria [kW]}$$

$$N_{lum} = \text{Número de luminarias.}$$

$$E = P_{Tlum} * N_h$$

Donde:

$E$ = Energía consumida semanalmente [kWh].

$N_h$ = Número de horas.

$$E_m = E * 4$$

Donde:

$E_m$ = Energía consumida mensualmente [kWh]. 4 = número de semanas que tiene el mes.

$$C = \pi * E_m$$

Donde:

$C$  = Costo total de la energía consumida [\$].

$\pi$  = Costo de la energía eléctrica por hora [\$/kWh]. De acuerdo a la resolución 002/19 de la ARCONEL le corresponde 10.26 ctvs.

En el aula 464 se tiene una cantidad de 138 luxes, por esta razón se propone realizar mejoras tanto de iluminación como en reducción de consumo eléctrico con las nuevas luminarias a implementarse.

### 5.3 Hardware

Gateway:

Este componente será el encargado de la comunicación entre las luminarias, las cuales se comunican con el estándar ZigBee y la aplicación de interactPro, la cual se puede comunicar con los estándares IEEE 802.3 o IEEE 802.11 (Philips, 2019),

En la figura 35 se puede observar el componente anteriormente descrito.



*Figura 35.* Gateway de interactPro.

Tomado de: (Philips, 2019).

Luminarias inteligentes:

Para poder utilizar el sistema inteligente, es necesario utilizar las luminarias inteligentes desarrolladas por Philips, estas luminarias cumplen con las características requeridas por interact Pro para poder realizar una completa automatización por cada uno de los componentes instalados en la red correspondiente (Philips, 2019)

En la figura 36 se aprecia la luminaria instalada en el sistema inteligente.



*Figura 36.* Luminaria inteligente.

Tomado de: (Philips, 2019).

Sensor de ocupación:

Este sensor, al igual que las luminarias, es un sensor inteligente, el cual se une a la red ZigBee sin necesidad de cables, este tipo de sensor, además de ser de ocupación, permite que las luminarias consuman aún menor energía, ya que, gracias a este componente, se puede verificar el nivel de iluminación en un espacio determinado y dimerizar las luminarias de manera automática considerando la luz natural del entorno. (Philips, 2019)

En la figura 37 se puede observar el sensor anteriormente descrito.



*Figura 37.* Sensor de ocupación inteligente.

Tomado de: (Philips, 2019).

#### **5.4 Software.**

Sistema de control:

Con este sistema se podrá realizar y controlar escenas, dimerizar las luminarias o apagarlas desde el computador o incluso con la aplicación diseñada para Android y para iOS, de esta manera hace que la iluminación en el entorno sea totalmente personalizable de acuerdo a la necesidad y gusto de cada usuario.

En la figura 38 se puede observar una referencia del control que ofrece la aplicación.



*Figura 38.* Controles de la aplicación mediante la nube.

Tomado de: (Philips, 2019).

## 6 IMPLEMENTACIÓN

Una vez realizado el diseño, ahora es momento de realizar la implementación, para lograr este objetivo se utilizarán los componentes descritos en los literales 5.3 y 5.4 del presente documento.

Las luminarias inteligentes serán montadas en lugar de las luminarias convencionales, lo único que aumentará en la implementación será un patchcore, el cual se conecta al Gateway del sistema, es necesario ya que el protocolo ZigBee no se puede comunicar directamente con Ethernet, por esta razón se necesita de este componente, el cual es el “traductor” entre los protocolos de comunicación, es decir, el sistema promueve la convergencia.

Una vez conectadas las luminarias, el siguiente paso es buscar el Gateway mediante la aplicación, para ello se tiene un código QR en el componente, de esa manera quedaría enlazado, este proceso se puede verificar en las siguientes figuras.

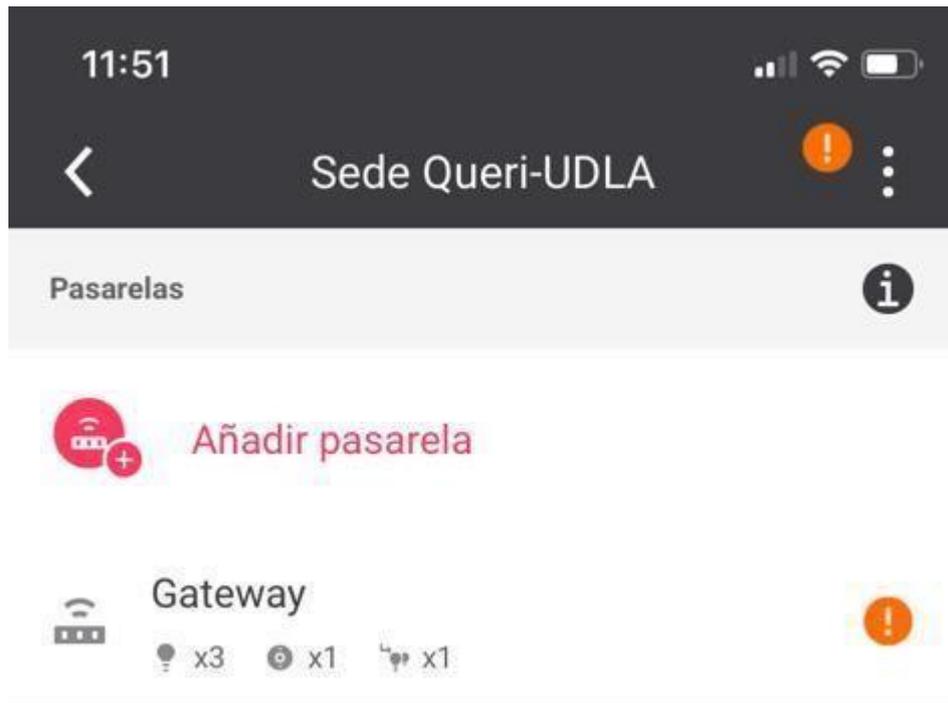


Figura 39. Adición de un Gateway al sistema inteligente.



Figura 40. Búsqueda del Gateway mediante código QR o código MAC.

Cuando se asigna el Gateway al sistema, lo siguiente es buscar las luminarias en la aplicación, gracias al protocolo ZigBee que manejan las luminarias es posible que las mismas se conecten a la misma red de formando una red mesh, la búsqueda de las luminarias se puede verificar en las figuras que se encuentran a continuación.



Figura 41. Búsqueda de luminarias en la aplicación.

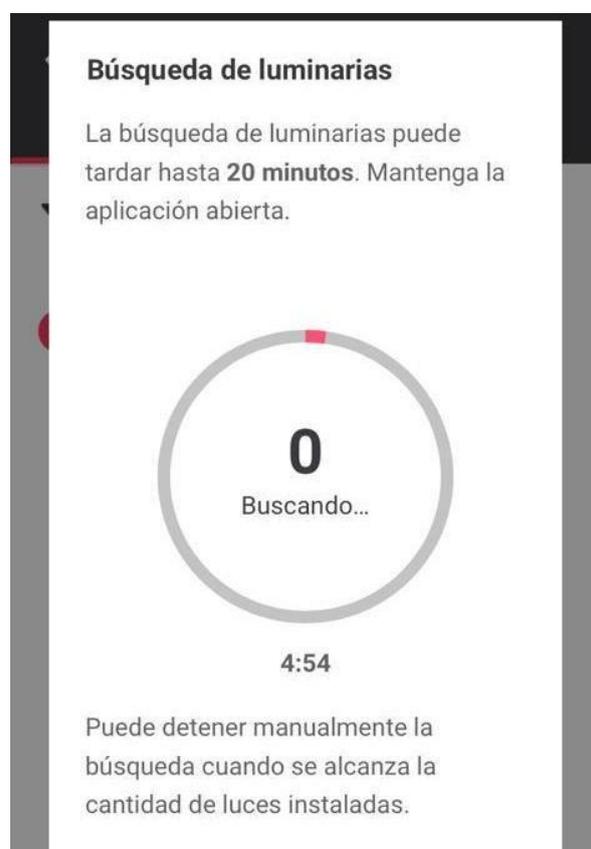


Figura 42. Aplicación buscando luminarias en tiempo real.

Cuando la búsqueda de luminarias ha finalizado, lo siguiente será crear grupos y zonas, con la finalidad de seccionar de manera óptima los puntos de iluminación que serán controlados desde la aplicación, en las figuras a continuación se podrá observar la creación de los grupos y zonas anteriormente descritas.



Figura 43. Creación del grupo a controlar.



Figura 44. Grupo creado de manera exitosa.



Figura 45. Creación de una nueva zona dentro del grupo.



Figura 46. Zona creada exitosamente.

Ahora es momento de crear las escenas correspondientes para la utilización de las luminarias inteligentes dentro del aula 464, las escenas creadas se realizan de acuerdo a la necesidad de iluminación, por este motivo se establecen dos escenas, la una escena tendrá como nombre clase, en esta escena toda la iluminación se encontrara a un 100%, en la escena dos, la cual llevará el nombre de presentación, las luminarias que se encuentran más cercanas al pizarrón se dimerizarán bajando si nivel de iluminación al 1%, y las otras luminarias bajarán su intensidad de iluminación al 51%, estas escenas se pueden verificar en las figuras presentadas a continuación.



Figura 47. Creación de nuevas escenas.

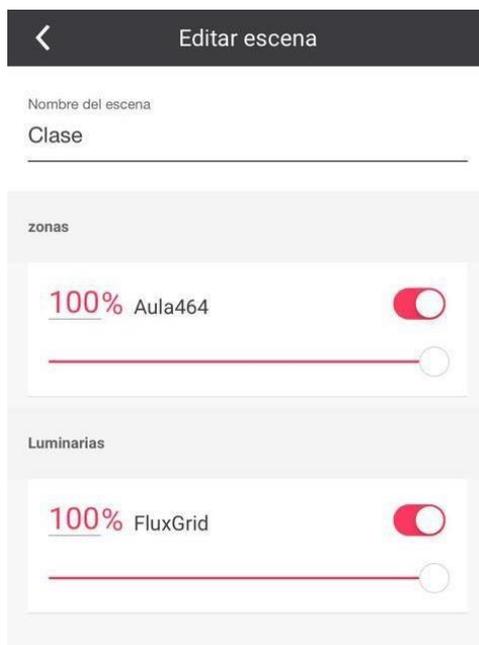


Figura 48. Configuración de la escena clase.

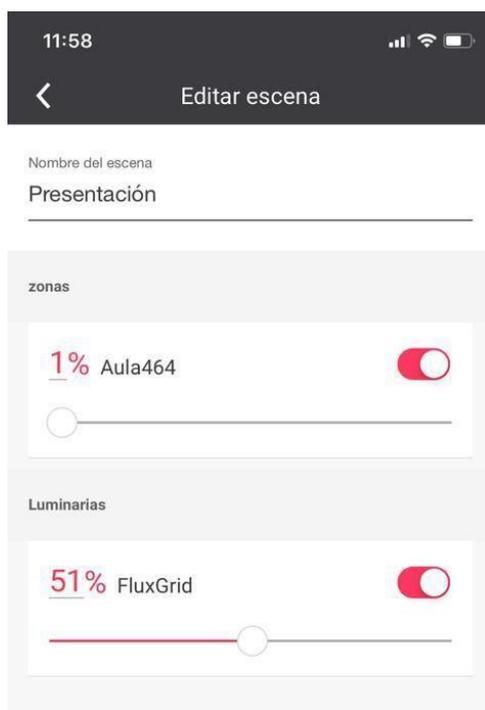


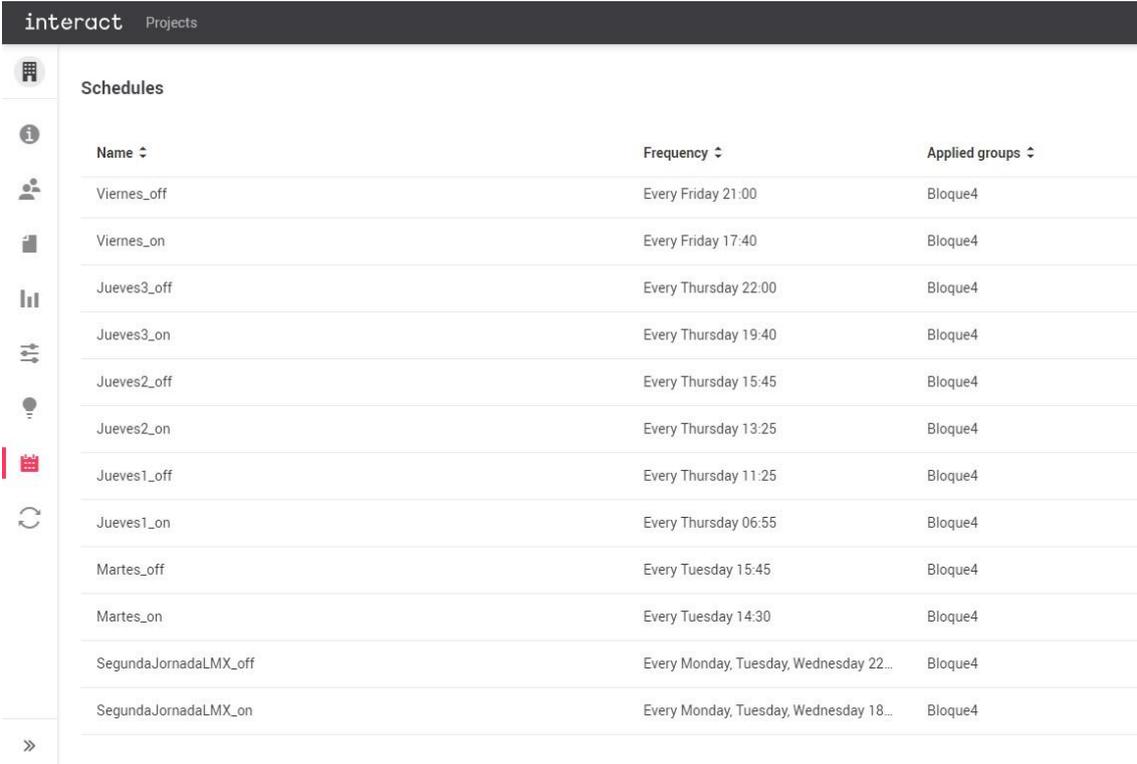
Figura 49. Configuración de la escena presentación.



Figura 50. Vista en la aplicación de las escenas configuradas.

Terminadas las configuraciones básicas del sistema, ahora se procederá con la programación adecuada para encender y apagar las luces de manera automática, considerando los horarios de clase establecidos en el aula, sin embargo, si se llega a requerir el encendido manual de las luminarias, se puede realizarlo sin ningún inconveniente desde la aplicación.

La programación establecida para este caso, se la puede verificar en la figura 51 que se presenta a continuación.



Name ↕	Frequency ↕	Applied groups ↕
Viernes_off	Every Friday 21:00	Bloque4
Viernes_on	Every Friday 17:40	Bloque4
Jueves3_off	Every Thursday 22:00	Bloque4
Jueves3_on	Every Thursday 19:40	Bloque4
Jueves2_off	Every Thursday 15:45	Bloque4
Jueves2_on	Every Thursday 13:25	Bloque4
Jueves1_off	Every Thursday 11:25	Bloque4
Jueves1_on	Every Thursday 06:55	Bloque4
Martes_off	Every Tuesday 15:45	Bloque4
Martes_on	Every Tuesday 14:30	Bloque4
SegundaJornadaLMX_off	Every Monday, Tuesday, Wednesday 22...	Bloque4
SegundaJornadaLMX_on	Every Monday, Tuesday, Wednesday 18...	Bloque4

*Figura 51.* Programación de triggers para el encendido y apagado de las luminarias.

Una vez implementadas las luminarias y configuradas de manera correcta en la aplicación, se procede a verificar su funcionamiento, de esta manera, gracias a la aplicación, se puede verificar los consumos reales de las luminarias inteligentes, además de tener una mejora significativa en la calidad de iluminación del aula, esta mejora de iluminación se puede verificar en la figura 52 que se encuentra a continuación.



Figura 52. Implementación finalizada en el aula 464.

## 7 ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 7.1 Análisis eléctrico

Al finalizar la implementación se realiza el análisis de los resultados obtenidos del consumo energético correspondiente, de esta manera se establece los resultados por semana, en la tabla 7 de la sección 5.2 del presente documento se puede observar el consumo obtenido por las luminarias convencionales, tanto en energía eléctrica (kWh) como el valor que se registraría en la facturación mensual, para esto de acuerdo a la resolución del ARCONEL Nro. 002/19 en el litera 3.1.2 inciso b, categoriza la instituciones educativas privadas, siendo su valor actual de 10.26 ctvs.

Además de mejorar considerablemente la iluminación del aula, en la tabla 8 se analizarán los resultados de consumo eléctrico obtenidos en las nuevas luminarias inteligentes, estos valores ya dejan de ser teóricos, ya que en la aplicación se puede observar el consumo real que han tenido las nuevas

luminarias.

Tabla 8.

*Consumo eléctrico de las luminarias inteligentes ya implementadas.*

<b>CONSUMO NUEVO DEL AULA 464</b>				
Potencia de cada luminaria	Número de luminarias	Energía consumida semanalmente [kWh]	VALOR EN USD SEMANAL	VALOR EN USD POR MES
33 W	5	2,724	\$0,28	\$1,12

Utilizando la fórmula:

$$E_m = E * 4$$

Donde:

$E_m$  = Energía consumida mensualmente [kWh].

$E$  = Energía semanal obtenida desde la aplicación [kWh] (figura 53).

$$C = \pi * E_m$$

Donde:

$C$  = Costo mensual de la energía consumida [\$].

$\pi$  = Costo de la energía eléctrica por hora [\$/kWh]. De acuerdo a la resolución 002/19 de la ARCONEL le corresponde 10.26 ctvs.

Basado en este análisis se estima un ahorro del 77.24% mensuales en esta aula, siendo así, se considera una buena opción de ahorro de energía una vez que se decida implementar el sistema inteligente en todo el campus.

Para analizar de mejor manera se plantea un análisis comparativo, el cual será descrito en la tabla 9 que se encuentra a continuación.

Tabla 9.

*Comparación de consumo eléctrico entre las luminarias fluorescentes y las luminarias inteligentes instaladas en el aula 464.*

<b>Comparación de consumo eléctrico Aula 464</b>						
Hora	Luminarias fluorescentes			Luminarias inteligentes		
	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]
9:00	120	3,20	384	120	1,19	143,3
10:00	120	3,20	384	120	1,19	142,5
11:00	120	3,20	384	120	1,19	143,2
12:00	120	3,20	384	120	1,18	141,9
13:00	120	3,20	384	120	1,20	143,7
14:00	120	3,20	384	120	1,20	144,1
15:00	120	3,20	384	120	1,19	142,9
16:00	120	3,20	384	120	1,20	143,8
17:00	120	3,20	384	120	1,25	149,8
18:00	120	3,20	384	120	1,29	155,3
19:00	120	3,20	384	120	1,37	164,2
20:00	120	3,20	384	120	1,37	164,5
21:00	120	3,20	384	120	1,37	164,3

En la figura 53 se puede apreciar una comparativa de consumo de potencia en las horas de utilización de las luminarias, siendo menor el consumo de las luminarias inteligentes frente a las luminarias fluorescentes.

Los valores de corriente y potencia en las luminarias inteligentes son variables debido a que, gracias al sensor de ocupación, es posible dimerizar las luminarias de manera efectiva, generando un menor consumo de energía.

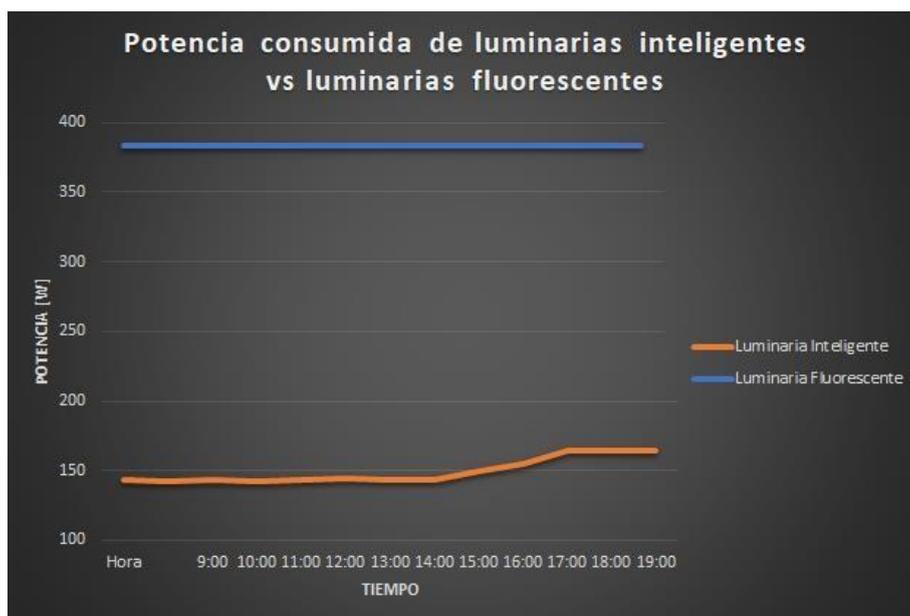


Figura 53. Comparación de consumo de potencia entre luminarias inteligentes y luminarias fluorescentes.

Los valores de energía se pueden verificar en la figura 54 que se presenta a continuación, los valores en el eje vertical representan el consumo, y, los valores en el eje horizontal representan el mes y el día.

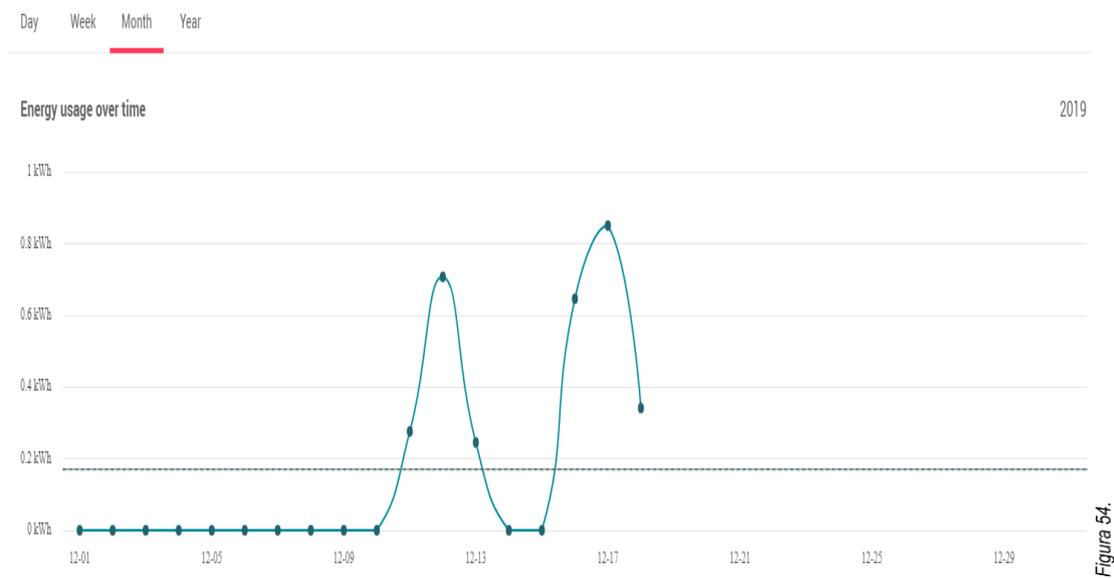


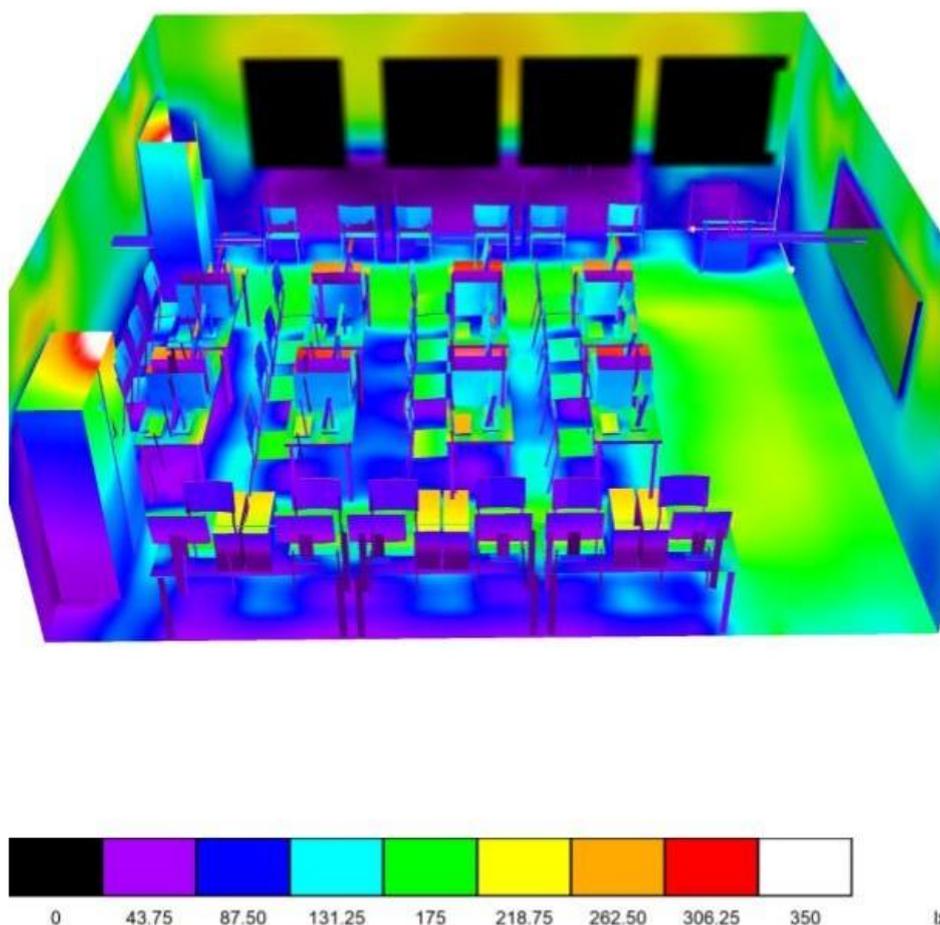
Figura 54.

Figura 54. Consumo eléctrico generado por las luminarias inteligentes.

## 7.2 Análisis lumínico

Además de generar un mayor ahorro de energía, este sistema mejora el nivel de iluminación, estos niveles de iluminación serán analizados más adelante, verificando de manera puntual la mejora realizada.

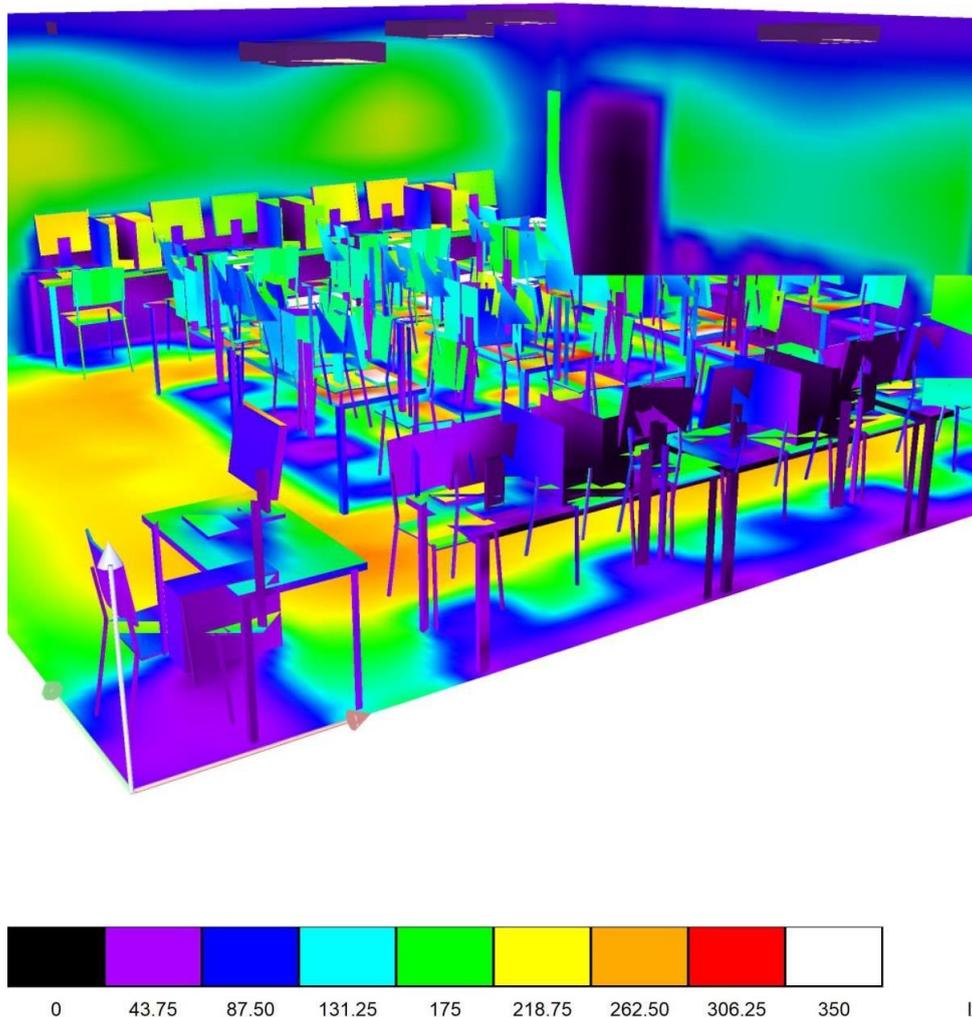
En la figura 55 que se presenta a continuación, se puede observar la cantidad de luxes en un mapa de calor, en donde se verifica la iluminación que tiene con las luminarias fluorescentes.



*Figura 55.* Distribución de luxes con las luminarias fluorescentes.

En la figura 55 se puede observar que en el mejor de los casos la iluminación puede llegar a los 175 luxes en el espacio abierto y con 132 luxes en los puestos de los estudiantes, al ser una iluminación muy baja, el esfuerzo de la vista debe ser mayor para poder realizar los trabajos en dicha área.

A continuación, se puede observar los resultados obtenidos con las luminarias inteligentes, los mismos que se aprecian en la figura 56.



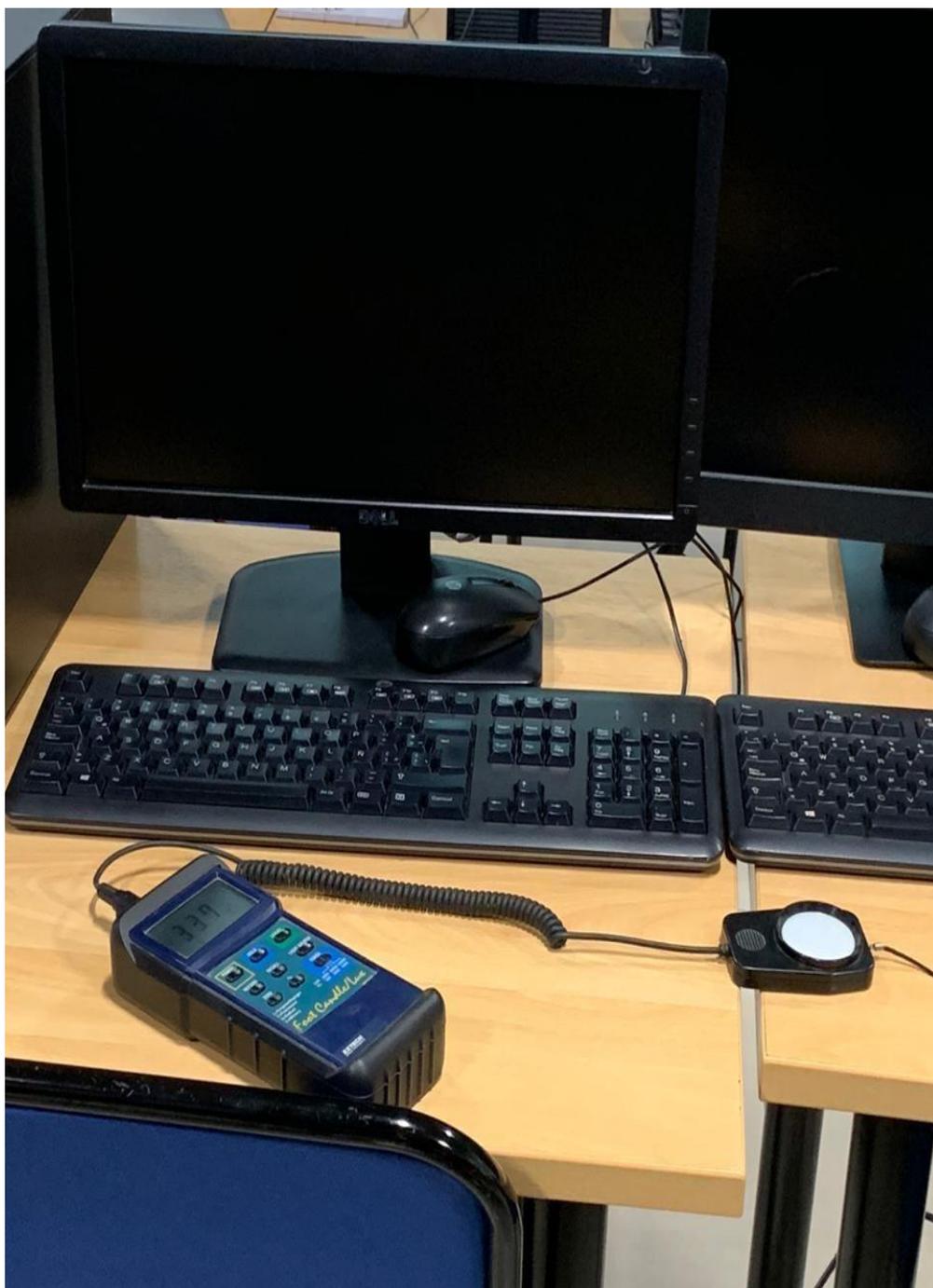
*Figura 56.* Distribución de luxes con las luminarias inteligentes.

En la figura 56 se puede apreciar que el valor máximo de luxes en espacio abierto puede llegar a los 263 y en los puestos de los estudiantes hasta los 218 luxes, mejorando de esta manera la iluminación un 50.2% en espacio abierto y un 65.2% en los puestos de los estudiantes, generando de esta manera un mejor entorno para el docente y para el estudiante.

Una vez realizada la implementación se procede a realizar las mediciones

correspondientes de las luminarias con un luxómetro, gracias a este analizador, se verificará en efecto, una mayor cantidad de luxes en el aula 464, de esta manera se evidencia de manera real la mejora propuesta en el diseño.

En las siguientes figuras se puede observar la concentración de los luxes medidos en diferentes puntos del aula.



*Figura 57.* Medición de luxes en el aula 464.

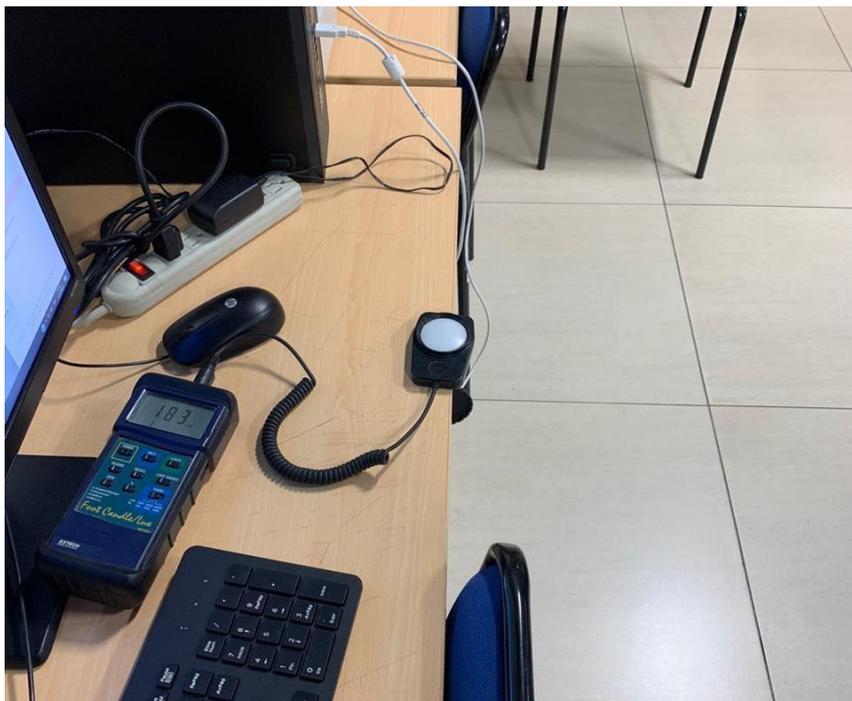


Figura 58. Medición de luxes en el aula 464.

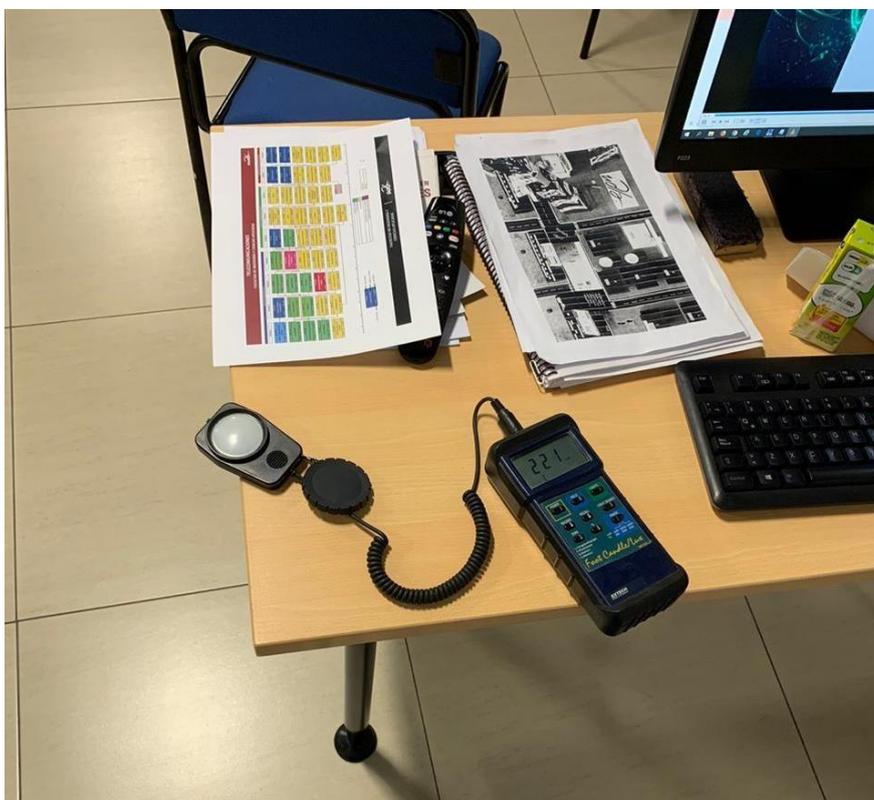


Figura 59. Medición de luxes en el aula 464.

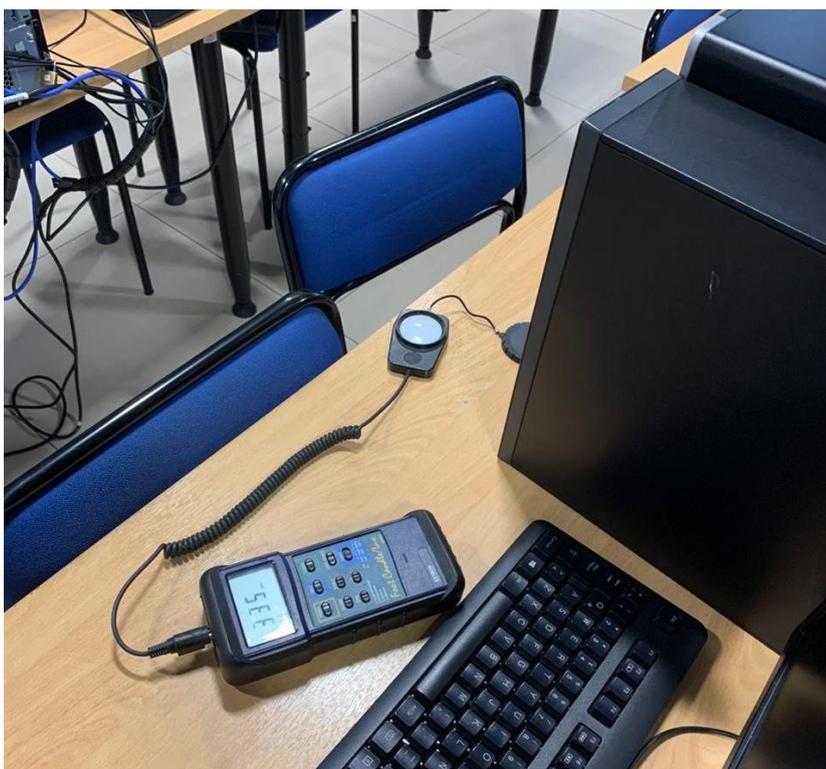


Figura 60. Medición de luxes del aula 464.



Figura 61. Medición de luxes en el aula 464.



Figura 62. Medición de luxes en el aula 464.

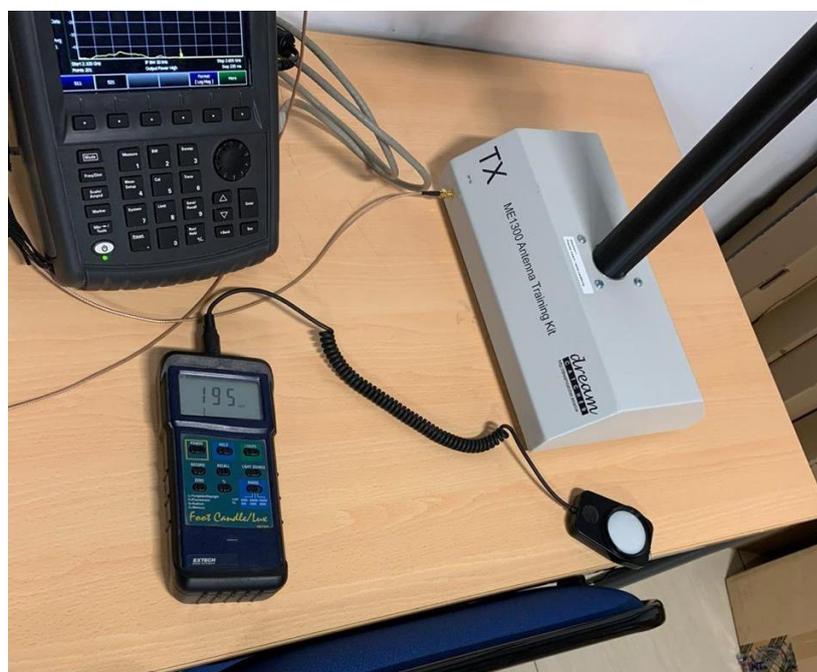


Figura 63. Medición de luxes en el aula 464.



Figura 64. Medición de luxes en el aula 464.

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 Conclusiones

La implementación de las luminarias realizadas en el aula 464 se han llevado a cabo de manera exitosa, de esta manera se puede realizar un cambio de luminarias a nivel general para obtener resultados favorables en todo el bloque cuatro.

El mayor consumo de energía es generado por la iluminación, de esta manera, al implementar una solución inteligente en todo el bloque cuatro, se obtendrá un ahorro significativo de energía eléctrica.

El consumo de energía que presenta el aula 464 con las luminarias fluorescentes, es excesivo considerando la baja eficiencia lumínica que ofrecen dichas luminarias, es decir, consumen mayor energía eléctrica brindando menor cantidad de luxes por metro cuadrado.

El software diseñado para el control de las luminarias es muy ventajoso para efectuar un control sencillo y muy intuitivo de las luminarias por parte de los usuarios y los instaladores.

Los horarios de clase han sido considerados para efectuar un encendido y apagado totalmente automático de las luminarias, evitando de esta manera desperdiciar energía durante las horas que no se dicten clase.

Al lograr optimizar la eficiencia lumínica permite que el ahorro de energía sea mayor, ya que, no es necesario tener luminarias de mayor potencia para tener una mayor cantidad de luxes, para tal objetivo es necesario conocer la cantidad de lúmenes y el comportamiento de la luminaria.

Al realizar las pruebas correspondientes se ha logrado obtener un ahorro de energía de hasta un 70% y una optimización lumínica desde un 51% hasta un 62%, lo que mejora considerablemente el entorno con un menor consumo.

Gracias a las luminarias inteligentes, se ha logrado generar un mayor ahorro de energía debido a su interacción con el usuario y a su protocolo de comunicaciones de bajo consumo.

Se ha necesitado implementar una menor cantidad de luminarias en el aula gracias a su eficiencia, esto permite obtener aún más ahorro de energía, ya que, mientras mayor es su eficiencia menor es su consumo.

Los resultados del cálculo realizado en el software frente a los medidos con el luxómetro han sido satisfactorios, de los cuales se observa una variación promedio de 10 luxes por encima de los valores del software.

## **8.2 Recomendaciones**

Se debe realizar un diseño previo para la implementación de las luminarias, esto permite tener un nivel de luxes adecuados en el entorno que se va a iluminar.

Hay que considerar los parámetros técnicos de cada luminaria, esto ayuda a una mejor optimización de energía, ya que, una mayor cantidad de potencia en la luminaria no indica que ilumina mejor.

Verificar la cantidad de lúmenes que tiene la luminaria ayuda a calcular la eficiencia luminosa de la luminaria.

Se debe trazar una malla en el suelo del entorno iluminado para verificar la cantidad de luxes que se encuentran en dicho entorno.

Seccionar los grupos y las zonas de manera correcta en el software ayuda a crear eventos personalizables de acuerdo con cada entorno.

No desconectar el Gateway de la energía eléctrica o de la red mientras se están instalando o se están buscando las luminarias.

Permitir actualizar el firmware de los dispositivos que se encuentran conectados a la red de iluminación.

Si se desea crear un nuevo proyecto con los elementos ya instalados, se debe primero eliminar las luminarias del grupo creado, una vez realizado eso, se procede con el reinicio del Gateway.

Cada temperatura de color se debe adecuar considerando el tipo de entorno a iluminar, generalmente se utilizan temperaturas cálidas para el hogar y temperaturas más frías para la lectura y el trabajo.

Para poder comunicarse con los dispositivos que utilizan el estándar ZigBee, es necesario utilizar un Gateway, este funciona como un tipo de traductor entre TCP/IP y ZigBee, de esta manera se cumple con los principios de formar redes NGN.

## REFERENCIAS

- Bhardwaj, S., Ozcelebi, T., Verhoeven, R., & Lukkien, J. (2011). Smart indoor solid state lighting based on a novel illumination model and implementation. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 57(4), 1612–1621. <https://doi.org/10.1109/tce.2011.6131133>
- Chew, I., Karunatilaka, D., Tan, C. P., & Kalavally, V. (2017). Smart lighting: The way forward? Reviewing the past to shape the future. *Energy and Buildings*, 149, 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.083>
- E.T.S. Arquitectura. (2017). L U M I N O T E C N I A: Magnitudes Fotométricas básicas. Unidades de medida. - PDF Descargar libre. Recuperado 9 marzo, 2020, de <https://docplayer.es/17894975-L-u-m-i-n-o-t-e-c-n-i-a-magnitudes-fotometricas-basicas-unidades-de-medida.html>
- Farahani, S. (2008). *ZigBee Wireless Networks and Transceivers* (2ª ed.). Burlington, USA: Elsevier Science.
- Gago, A., Calderón, A. G., & Fraile, J. (2012). *Iluminación con tecnología LED* (2ª ed.). Madrid, España: Paraninfo.
- Herranz, C., M.ª Ollé, J., & Jáuregui, F. (2017, 6 marzo). La iluminación con led y el problema de la contaminación lumínica. *Astronomía*. Recuperado de [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-03-06\\_05-58-35140206.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-03-06_05-58-35140206.pdf)
- Herring, H. (2006). Energy efficiency—a critical view. *Energy*, 31(1), 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.04.055>
- Higuera, J., Hertog, W., Peralvarez, M., Polo, J., & Carreras, J. (2015). Smart Lighting System ISO/IEC/IEEE 21451 Compatible. *IEEE Sensors Journal*, 15(5), 2595–2602. <https://doi.org/10.1109/jsen.2015.2390262>
- Jung, T., Mattsson, M., & Bridges, J. (2008, septiembre). Light Sensitivity. Recuperado 9 marzo, 2020, de [https://www.researchgate.net/publication/291135786\\_Light\\_Sensitivity](https://www.researchgate.net/publication/291135786_Light_Sensitivity)

- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications, 03(05)*, 164–173. <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>
- National Optical Astronomy Observatory. (s.f.). Recuperado 9 marzo, 2020, de [https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety\\_Activity\\_Poster/LightLevels\\_outdoor+indoor\\_es.pdf](https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es.pdf)
- Pérez, K., & Fustillos, E. (2018). *Diseño de la ingeniería inmótica del bloque 4 - sede Queri de la Universidad de las Américas*. Quito.
- Philips. (2019, mayo). Interact Pro. Recuperado 9 marzo, 2020, de [https://www.interact-lighting.com/b-dam/b2b-li/es\\_CE/interact/what-is-possible/interact-pro/Interact-Pro-brochure-Nola-Spanish-Digital-final.pdf](https://www.interact-lighting.com/b-dam/b2b-li/es_CE/interact/what-is-possible/interact-pro/Interact-Pro-brochure-Nola-Spanish-Digital-final.pdf)
- Sung, W., & Lin, J. (2013). Design and Implementation of a Smart LED Lighting System Using a Self Adaptive Weighted Data Fusion Algorithm. *Sensors, 13(12)*, 16915–16939. <https://doi.org/10.3390/s131216915>
- Tang, S., Kalavally, V., Ng, K. Y., & Parkkinen, J. (2017). Development of a prototype smart home intelligent lighting control architecture using sensors onboard a mobile computing system. *Energy and Buildings, 138*, 368–376. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.069>
- Zhu, Q., Wang, R., Chen, Q., Liu, Y., & Qin, W. (2010). IOT Gateway: Bridging Wireless Sensor Networks into Internet of Things. *2010 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, <https://doi.org/10.1109/euc.2010.58>

## **ANEXOS**



## **ILUMINACION AULA 464**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ILUMINACIÓN**

**INTELIGENTE UTILIZANDO EL ESTÁNDAR DE  
COMUNICACIONES ZigBee**  
Universidad de

**la Américas**

**Aula: 464**

**Tesista: Jerson Bastidas**

**Fecha: 07.01.2020**

**Proyecto elaborado por: JERSON BASTIDAS**



07.01.2020

Proyecto elaborado por JERSON BASTIDAS

Teléfono +593 97 942 7711

Fax

e-Mail [jerson.bastidas@udla.edu.ec](mailto:jerson.bastidas@udla.edu.ec)

## Índice

### ILUMINACION AULA 464

Portada del proyecto	1
Índice	2
Lista de luminarias	3
PHILIPS DAY-BRITE 2FGG38L840-2-D-UNV 2X2 FluxGrid CORE TROFFER 2-SL...	
Hoja de datos de luminarias	4
AULA 464	
Resumen	5
Lista de luminarias	6
Resultados luminotécnicos	7
Superficie de cálculo (sumario de resultados)	8
Rendering (procesado) en 3D	9
Rendering (procesado) de colores falsos	10

ILUMINACION AULA 464



07.01.2020

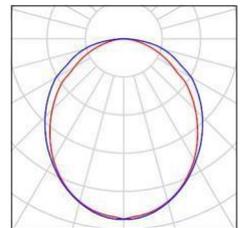
Proyecto elaborado por JERSON BASTIDAS

Teléfono +593 97 942 7711

Fax

e-Mail [jerson.bastidas@udla.edu.ec](mailto:jerson.bastidas@udla.edu.ec)

## ILUMINACION AULA 464 / Lista de luminarias





07.01.2020

Proyecto elaborado por JERSON BASTIDAS

Teléfono +593 97 942 7711

Fax

e-Mail [jerson.bastidas@udla.edu.ec](mailto:jerson.bastidas@udla.edu.ec)

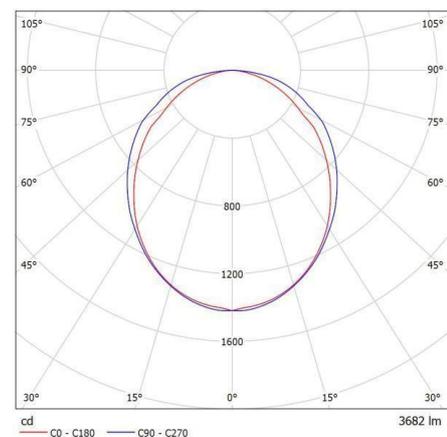
PHILIPS DAY-BRITE 2FGG38L840-2-D-UNV 2X2 FluxGrid CORE TROFFER  
2-SLIMC 2.26L6 4000K BOARDS 40W DRIVER 2.49K RESISTOR  
PROFLECTION ON ENDCAPS /

## Hoja de datos de luminarias

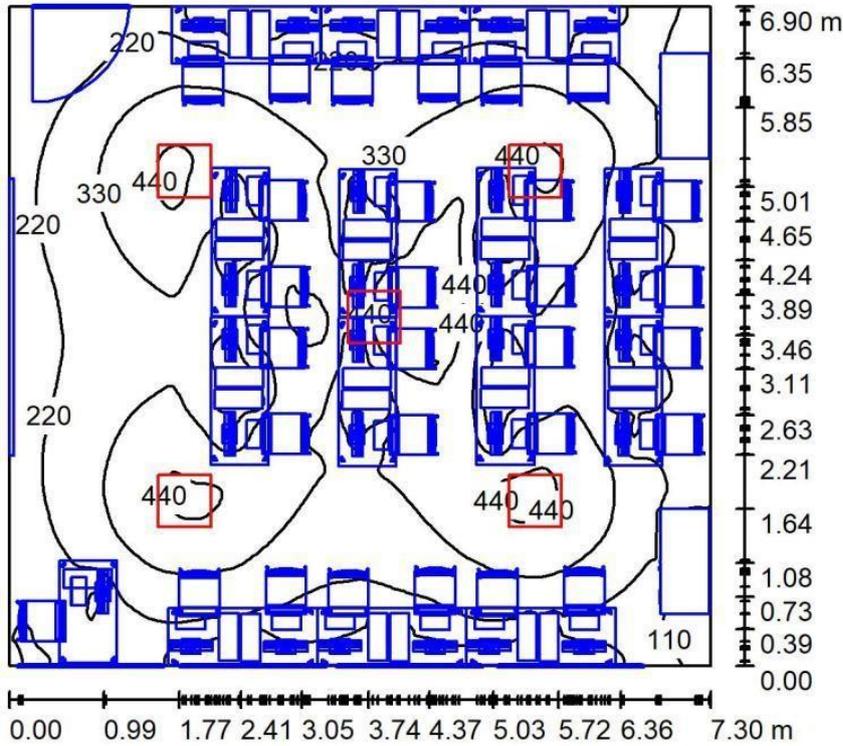
Dispone de una  
imagen de la  
luminaria en  
nuestro catálogo  
de luminarias.

Clasificación luminarias según CIE: 100

### Emisión de luz 1:



AULA 464 / Resumen



Altura del local: 2.800 m, Altura de montaje: 2.800 m, Factor mantenimiento:

Valores en Lux, Escala 1:89

0.95

Superficie	r [%]	Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	$\frac{E_{min}}{E_m}$
Plano útil	/	281	18	531	0.064
Suelo	40	159	3.56	297	0.022
Techo	70	65	32	83	0.500
Paredes (4)	68	94	5.94	219	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m  
128 x 128  
Trama: Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	F (Luminaria) [lm]	F (Lámparas) [lm]	P [W]
1	5	PHILIPS DAY-BRITE 2FGG38L840-2-D- UNV 2X2 FluxGrid CORE TROFFER 2-SLIMC 2.26L6 4000K BOARDS 40W DRIVER 2.49K RESISTOR PROFLECTION ON ENDCAPS (1.000)	3682	3682	33.4
			Total: 18412	Total: 18412	167.0

Valor de eficiencia energética:  $3.32 \text{ W/m}^2 = 1.18 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $50.37 \text{ m}^2$ )



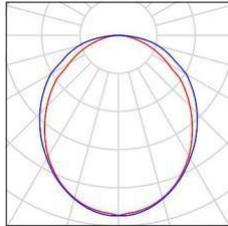
07.01.2020

Proyecto elaborado por JERSON BASTIDAS

Teléfono +593 97 942 7711

Fax

e-Mail [jerson.bastidas@udla.edu.ec](mailto:jerson.bastidas@udla.edu.ec)



**AULA 464 /  
Lista de  
luminarias**

5 Pieza **PHILIPS DAY-BRITE 2FGG38L840-2-D-UNV  
2X2**

**FluxGrid CORE TROFFER 2-SLIMC 2.26L6 4000K**

**BOARDS 40W DRIVER 2.49K RESISTOR**

**PROFLECTION ON ENDCAPS**

**N° de artículo: 2FGG38L840-2-D-UNV Flujo luminoso**

**(Luminaria): 3682 lm Flujo luminoso (Lámparas): 3682 lm**

**Potencia de las luminarias: 33.4 W Clasificación luminarias**

**según CIE: 100 Código CIE Flux: 48 79 95 100 100**

**Lámpara: 1 x LED. LUMINAIRE OUTPUT = 3684**

**LUMENS (Factor de corrección 1.000).**

07.01.2020

Proyecto elaborado por JERSON BASTIDAS

Teléfono +593 97 942 7711

Fax

e-Mail jerson.bastidas@udla.edu.ec

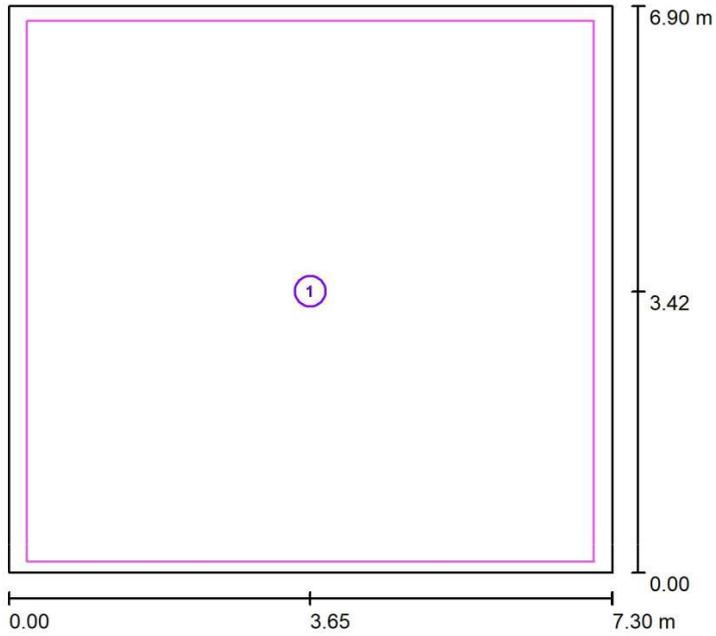
**AULA 464 / Resultados luminotécnicos**

**Flujo luminoso total:** 18412 lm  
**Potencia total:** 167.0 W  
**Factor mantenimiento:** 0.95  
**Zona marginal:** 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m <sup>2</sup> ]
	[lx]				
	directo	indirecto	total		
Plano útil	232	49	281	/	/
Superficie de cálculo	248	48	297	/	/
1					
Suelo	119	40	159	40	20
Techo	0.00	65	65	70	14
Pared 1	41	40	81	68	18
Pared 2	43	36	79	68	17
Pared 3	66	44	110	68	24
Pared 4	61	46	107	68	23



07.01.2020



**AULA 464 / Superficie de cálculo (sumario de resultados)**

Escala 1:  
79

**Lista de superficies de cálculo**

Nº	Designación	Tipo	Trama	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1	Superficie de cálculo	perpendicular	128 x 128	297	22	533	0.074	0.041



07.01.2020

Proyecto elaborado por JERSON BASTIDAS

Teléfono +593 97 942 7711

Fax

e-Mail [jerson.bastidas@udla.edu.ec](mailto:jerson.bastidas@udla.edu.ec)

### AULA 464 / Rendering (procesado) en 3D



ILUMINACION AULA 464

07.01.2020

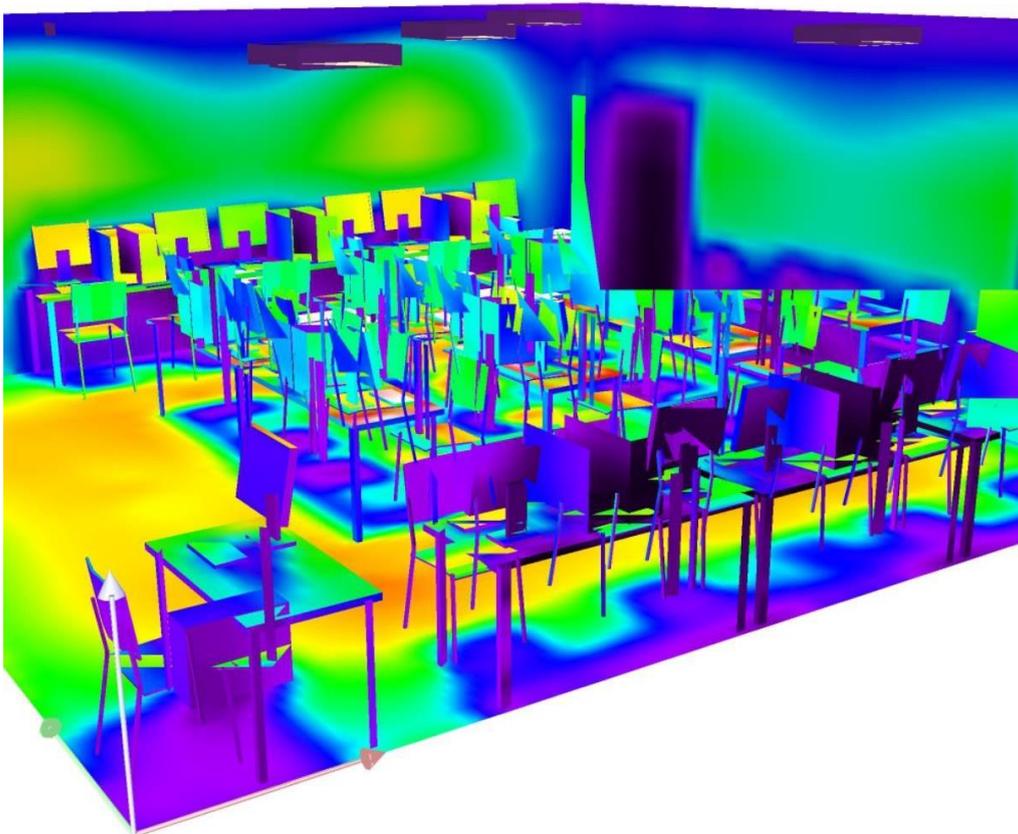
Proyecto elaborado por JERSON BASTIDAS

Teléfono +593 97 942 7711

Fax

e-Mail [jerson.bastidas@udla.edu.ec](mailto:jerson.bastidas@udla.edu.ec)

**AULA 464 / Rendering (procesado) de colores falsos**



0 43.75 87.50 131.25 175 218.75 262.50 306.25 350

lx

