

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
PARA ILUMINACIÓN EN SECTORES CRÍTICOS DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA”**

AUTORES:

FABIÁN EDUARDO PESÁNTEZ PESÁNTEZ

ANDRÉS VICENTE VALDEZ SALAMEA

DIRECTOR:

ING. XAVIER SERRANO GUERRERO. MSC.

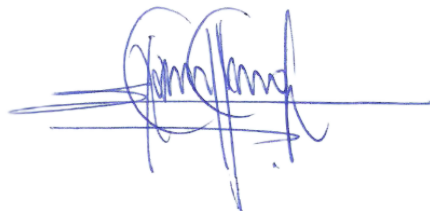
Cuenca, Diciembre de 2014

Ing. Johnny Xavier Serrano Guerrero M.Sc.

Certifica:

Que el trabajo intitulado “*Diseño de un sistema de optimización de energía eléctrica para iluminación en sectores críticos de la Universidad Politécnica Salesiana sede matriz Cuenca*”, realizado por Fabián Eduardo Pesántez Pesántez y Andrés Vicente Valdez Salamea, cumple exitosamente con todos los objetivos trazados.

Cuenca, Diciembre 2014



Ing. Johnny Xavier Serrano Guerrero M.Sc.

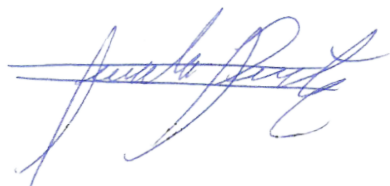
DIRECTOR DE TESIS

Declaratoria de Responsabilidad

Las ideas, resultados y conclusiones contenidas en esta tesis "*Diseño de un sistema de optimización de energía eléctrica para iluminación en sectores críticos de la Universidad Politécnica Salesiana sede matriz Cuenca*", son exclusiva responsabilidad de los autores.

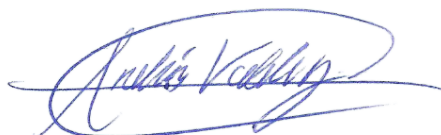
A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

Cuenca, Diciembre 2014



Fabián Eduardo Pesántez P.

AUTOR



Andrés Vicente Valdez S.

AUTOR

Dedicatoria

A toda mi familia que se ha esforzado incansablemente para ayudarme a cumplir esta meta, brindándome siempre su apoyo para seguir adelante.

A mis amigos, con los que he compartido todo este camino lleno de alegrías y tristezas en donde siempre ha perdurado su amistad.

Fabián Eduardo Pesántez P.

Dedico a Dios, a la Virgen por ser mi refugio y darme la fuerza necesaria para alcanzar este objetivo. A mis padres Vicente y Monse, ya que han sido mis pilares, mis guías, quienes supieron estar en toda esta etapa de mi vida, a mi hermana Xime, por todo su apoyo incondicional, ya que ha sabido aconsejarme para mantenerme por el camino del bien. Y a ti, por el cariño y palabras de aliento, que me han fortalecido en incontables momentos.

Andrés Vicente Valdez S.

Agradecimientos

A mi familia, que a echo todo este trabajo posible, mediante su esfuerzo incansable y su apoyo incondicional.

¡Se los debo todo!

A la Universidad, por abrirme las puertas a grandes oportunidades, además de enseñarme la responsabilidad y el esfuerzo que amerita llegar a cumplir con un objetivo.

Fabián Eduardo Pesántez P.

Agradezco a Dios, por ser mi protector y brindarme la salud para alcanzar esta meta, a mi Padre Vicente quien con su ejemplo supo guiarme en cada instante de esta etapa, a mi madre Monse por su amor infinito, que me ayudó a crecer como persona en este tiempo, a mi hermana Xime, por ser tan leal y nunca dejarme rendir en esos momentos de tristeza, al Ing. Xavier Serrano por su paciencia, entrega y consejos brindados para el desarrollo de este proyecto. A mi amigo Fabián con quién, gracias a su dedicación y apoyo logramos culminar con este objetivo propuesto; a toda mi familia, amigos, docentes y personas que han formado parte de este trayecto mil y un gracias de corazón.

Andrés Vicente Valdez S.

Índice general

Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	1
1. Conceptos Generales	3
1.1. Luz	3
1.1.1. Iluminación eficiente	3
1.1.2. Flujo luminoso	3
1.1.3. Medida del flujo luminoso	4
1.1.4. Rendimiento luminoso	5
1.1.5. Cantidad de luz	6
1.1.6. Intensidad luminosa	6
1.1.7. Distribución luminosa. Curva fotométrica	6
1.1.8. Iluminancia	7
1.1.9. Medida de la iluminancia	7
1.1.10. Luminancia	8
1.1.11. Medida de luminancia	9
1.2. Tipos de luminarias	10
1.2.1. Luminarias Incandescentes	10
1.2.2. Luminarias Fluorescentes	11
1.2.3. Ahorradores	12
1.2.4. LED's	13
1.3. Iluminación Inteligente	14
2. Análisis de los Sectores Críticos en Iluminación en la UPS	17
2.1. Planteamiento del Método de Análisis	17
2.1.1. Planteamiento del método de medición de la calidad lumínica	17
2.1.2. Planteamiento de los lugares críticos en iluminación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca	20
2.1.3. Mediciones de la intensidad lumínica proveniente del ambiente de los lugares críticos en iluminación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca	21
2.1.4. Mediciones de consumo eléctrico de los lugares críticos en iluminación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca	41
2.2. Benchmarking	43
2.2.1. Análisis lumínico de las mediciones realizadas	43

2.2.2.	Comparación de los resultados obtenidos	56
2.2.3.	Análisis de la eficiencia energética	65
2.2.4.	Benchmarking interno	72
3.	Diseño del Sistema de Iluminación Inteligente	75
3.1.	Análisis del Consumo Eléctrico en Iluminación	75
3.1.1.	Análisis en la sala de profesores	75
3.1.2.	Análisis en la planta baja de la Biblioteca	76
3.1.3.	Análisis en la primera planta alta de la Biblioteca	76
3.1.4.	Análisis en la segunda planta alta de la Biblioteca	76
3.1.5.	Análisis en el Laboratorio de eléctrica – electrónica	77
3.1.6.	Análisis en el Laboratorio de mecánica	77
3.2.	Diseño del Sistema	77
3.2.1.	Objetivos del sistema	77
3.2.2.	Arquitectura del sistema	78
3.2.3.	Control de las luminarias led	80
3.2.4.	Diseño de un medidor de luz	80
3.2.5.	Diseño de la central de gestión lumínica	86
3.2.6.	Diseño de sensores	89
3.2.7.	Diseño del actuador	96
3.2.8.	Diseño del sistema de control	98
3.2.9.	Prueba del sistema de control	105
3.3.	Implementación y Pruebas	106
3.3.1.	Implementación	106
3.3.2.	Pruebas	107
3.4.	Análisis de resultados	110
3.4.1.	Proyección del ahorro energético con el sistema de iluminación inteligente	110
3.4.2.	Análisis económico del sistema	112
4.	Conclusiones y Recomendaciones	129
4.1.	Conclusiones generales	129
4.2.	Conclusiones del estudio de iluminación	130
4.3.	Conclusiones de la eficiencia energética	131
4.4.	Conclusiones del sistema de iluminación inteligente	131
4.5.	Recomendaciones generales	131
4.6.	Recomendaciones sobre la construcción civil de los ambientes	132
4.7.	Recomendaciones sobre el sistema de iluminación inteligente	132
	Bibliografía	133

Resumen

El presente trabajo corresponde al diseño de un sistema de optimización de energía eléctrica para iluminación en sectores críticos de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

Se planteó como objetivo principal el diseño y la implementación de un prototipo para optimizar la energía eléctrica empleada en iluminación en los lugares críticos del plantel y a su vez brindar un análisis comparativo de los resultados obtenidos.

En el primer capítulo se estudia las diferentes generalidades de iluminación, también se dará a conocer los distintos tipos de luminarias existentes en nuestro medio y por último la iluminación inteligente, con lo cual se desea aclarar los términos y definiciones para el desarrollo indispensable del proyecto.

A nivel del segundo capítulo se analiza los sectores críticos en iluminación de la Politécnica Salesiana sede Cuenca, en el que se plantea un método que verifique los niveles de iluminación existentes con las normas establecidas internacionalmente, para lograr así un proceso de comparación, ya que este dará a conocer las exigencias del diseño del sistema que se pretende realizar.

En el tercer capítulo se aporta el desarrollo del sistema de iluminación inteligente, en el que se lleva a cabo, un previo análisis del consumo energético de iluminación. Posteriormente se define el sistema a implementar, con los debidos estudios realizados en la institución, lo cual permitirá observar los resultados obtenidos del tema planteado.

El último capítulo corresponde las conclusiones y recomendaciones, las cuales se dan a partir de los análisis y resultados de lo propuesto en la tesis, se aspira que este diseño planteado tenga un alcance a nivel de la industria.

1 Conceptos Generales

Este presente capítulo se revisa las principales definiciones y características de iluminación, de esta manera en especial el estudio va a facilitar el entendimiento del proyecto que se tiene en mente a desarrollar.

Se presenta los conceptos básicos que se ven inmersos en el campo de la eficiencia energética. Se exponen cada uno de ellos, además se da a conocer las diferentes clasificaciones de luminarias y por último se analiza la iluminación inteligente, que en la actualidad ha tenido un crecimiento a considerar.

1.1. Luz

La luz es un elemento fundamental para el entorno, por lo que permite visualizar el medio en el cual se puede relacionar con objetos y el campo visual, es así como varía la apariencia del espacio e influye en el estado de ánimo de las personas.

El diseño de iluminación se basa en encontrar soluciones que permitan mejorar la relación entre usuario y su entorno.

1.1.1. Iluminación eficiente

Un sistema de iluminación eficiente es aquel que, además de satisfacer las necesidades visuales, crea también ambientes saludables, seguros y confortables, posibilita a los usuarios disfrutar de atmósferas agradables, emplea apropiadamente los recursos tecnológicos como luminarias, sistemas ópticos, etc., hace un uso racional de la energía para contribuir a minimizar el impacto ecológico y ambiental. [26]

1.1.2. Flujo luminoso

Energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa. Se representa por la letra griega Φ (fi), siendo su unidad el lumen. [29]

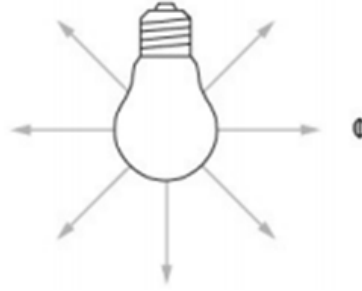


Figura 1.1: Representación del Flujo Luminoso[24]

1.1.3. Medida del flujo luminoso

La medida del flujo luminoso se realiza en el laboratorio por medio de un fotómetro ajustado según la curva de sensibilidad fotópica del ojo a las radiaciones monocromáticas, incorporando a una esfera hueca a la que se le da el nombre de esfera integradora de Ulbricht, y en cuyo interior se coloca la fuente de medir. [29]

TIPO DE LAMPARA	FLUJO LUMINOSO (lm)
Efluvios	0.6
Vela de cera	10
Incandescente Standard de 100 W	1380
Fluorescente L 40 W/20 (Blanco frio)	3200
Mercurio a alta presión HQL 400 W	23000
Halogenuros metálicos HQI 400 W	28000
Sodios a alta presión NAV-T 400 W	48000
Sodio a baja presión NA 180 W	33000
Magnesio AG 3B	450000
Nueva Tecnología LED	1440

Cuadro 1.1: Flujo luminoso de algunas lámparas[29]

1.1.4. Rendimiento luminoso

Flujo que emite una fuente luminosa por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. El flujo de luz se distribuye en cada dirección del espacio. La unidad llamada lumen por vatio, a continuación se observa la fórmula de dicha expresión.[22]

$$n = \frac{\Phi}{P} \tag{1.1}$$

Donde:

$n =$ Rendimiento luminoso en Lm/W

$\Phi =$ Flujo luminoso en lúmenes

$P =$ Potencia eléctrica de lámpara

TIPO DE LAMPARA	POTENCIAL NOMINAL (W)	RENDIMIENTO LUMINOSO (lm/W)
Efluvios	0.3	2
Incandescente Standard de 100 W	40	11
Fluorescente L 40 W/20 (Blanco frio)	40	80
Mercurio a alta presión HQL 400 W	400	58
Halogenuros metálicos HQI 400 W	360	78
Sodios a alta presión NAV-T 400 W	400	120
Sodio a baja presión NA 180 W	180	183
Nueva Tecnología LED	18	80

Cuadro 1.2: Rendimiento luminoso de algunas lámparas [29]

1.1.5. Cantidad de luz

La cantidad de luz se determina por la potencia luminosa o flujo luminoso emitido en la unidad de tiempo. [29]

La cantidad de luz se representa por la letra Q , siendo su unidad el lumen por hora. A continuación se observa la fórmula de dicha expresión.

$$Q = \Phi \times t \quad (1.2)$$

1.1.6. Intensidad luminosa

Cantidad de flujo luminoso emitido por cada uno de los rayos que la fuente emite en una determinada dirección por unidad de ángulo sólido. Magnitud que expresa la distribución del flujo luminoso en el espacio. Esta magnitud se entiende únicamente referida a una determinada dirección y contenida en un ángulo sólido o estereó que se mide en estereorradianes dirección. La intensidad luminosa se representa por la letra I , siendo su unidad la candela (cd). [24]

$$I = \frac{\Phi}{W}; \quad 1Cd = \frac{1Lm}{1Sr} \quad (1.3)$$

Donde:

$I =$ Rendimiento luminoso en la dirección considerada, en Cd

$\Phi =$ Flujo luminoso dentro del ángulo sólido, en Lm

$W =$ Valor del ángulo sólido, en Sr

1.1.7. Distribución luminosa. Curva fotométrica

Es el conjunto de la intensidad luminosa de una fuente, en todas direcciones. Las fuentes de luz utilizadas en la práctica tienen una superficie luminosa más o menos grande, cuya intensidad de radiación se ve afectada por la propia construcción de la fuente, presentando valores diversos en las distintas direcciones.

Con aparatos especiales se puede determinar la intensidad luminosa de una fuente en todas direcciones del espacio con relación a un eje vertical. Mediante la curva fotométrica de una fuente se puede determinar con exactitud la intensidad luminosa en cualquier dirección. [29]

1.1.8. Iluminancia

Iluminancia o iluminación de una superficie es la cantidad de luz que incide la unidad de superficie. Siendo su unidad el lux. A continuación se observa la fórmula de dicha expresión. [22]

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (1.4)$$

Donde:

$E =$ Nivel medio de iluminación, en lx

$\Phi =$ Flujo luminoso, en Lm

$S =$ Superficie a iluminar, en m^2

Se deduce de la fórmula que cuanto mayor sea el flujo luminoso incidente sobre una superficie, mayor será su iluminancia, y que, para un mismo flujo luminoso incidente, la iluminancia será tanto mayor en la medida en que disminuya la superficie. El lux, la unidad de iluminancia, se considera a la iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe uniformemente repartido un flujo luminoso de un lumen. [29]



Figura 1.2: Concepto de iluminancia[24]

1.1.9. Medida de la iluminancia

La medida de iluminancia se realiza por medio de un aparato especial denominado luxómetro, que consiste en una célula fotoeléctrica que, al incidir la luz sobre su superficie, genera una débil corriente eléctrica que aumenta en función de la luz incidente. Dicha corriente se mide con un miliamperímetro calibrado directamente en lux.[29]

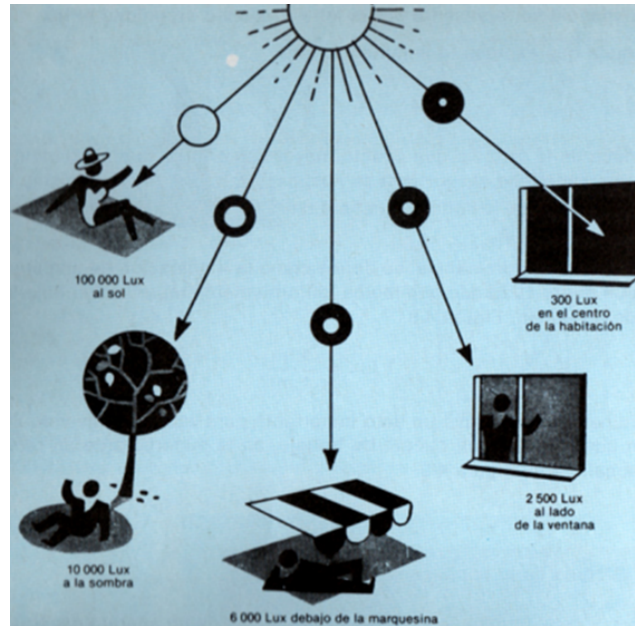


Figura 1.3: Iluminación con luz solar al aire libre y en el interior de la casa[29]

1.1.10. Luminancia

En realidad se trata de la verdadera medida de la sensación de iluminación de un objeto, veremos con mayor claridad el que mayor luminancia tenga. Efecto de luminosidad que produce una superficie en la retina del ojo, tanto si procede de una fuente primaria que produce luz, como si procede de una fuente secundaria o superficie que refleja luz. Relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancias. La luminancia se representa por la letra L , siendo su unidad la candela por metro cuadrado llamada nit. [22]

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos\beta} \quad (1.5)$$

Donde:

$$L = \text{Luminancia, en Cd/m}^2$$

$$I = \text{Intensidad luminosa, en Cd}$$

$S = \text{Superficie real iluminada, en } m^2$

$\beta = \text{Ángulo que forma, el plano normal iluminado}$

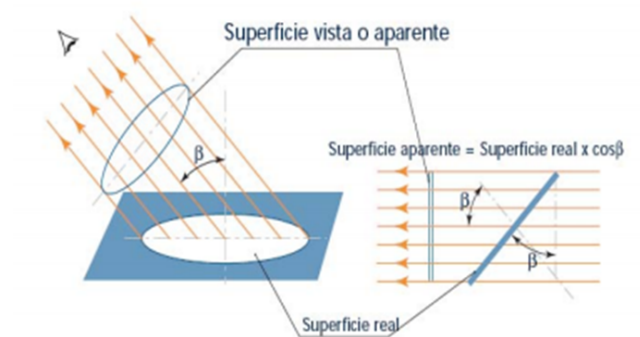


Figura 1.4: Luminancia de una superficie[24]

1.1.11. Medida de luminancia

La medida de luminancia se realiza por medio de un aparato especial llamado luminancímetro o nitómetro, de construcción similar al luxómetro, del que igualmente existen diversos modelos.

MAGNITUD	SIMBOLO	UNIDAD	DEFINICION DE LA UNIDAD	REALACIONES
Flujo Luminoso	Φ	Lumen (lm)	Flujo luminoso de la radiación monocromática	$\Phi = I * \omega$
Rendimiento luminoso	n	Lumen por vatio (lm/W)	Flujo luminoso emitido por unidad de potencia	$n = \frac{\Phi}{W}$
Cantidad de luz	Q	Lumen por vatio (lms) Lumen por hora (lmh)	Flujo luminoso emitido por unidad de tiempo	$Q = \Phi * t$
Intensidad luminosa	I	Candela (cd)	Intensidad luminosa de una fuente puntual que emite flujo luminoso de un lumen	$I = \frac{\Phi}{\omega}$
Iluminancia	E	Lux(lx)	Flujo luminoso de un lumen que recibe una superficie de 1 m ²	$E = \frac{\Phi}{S}$
Luminancia	L	Candela por m ² (cd/m ²) Candela por cm ² (cd/cm ²)	Intensidad luminosa de una candela por unidad de superficie	$L = \frac{I}{S}$

Cuadro 1.3: Magnitudes y Unidades Luminosas Fundamentales [29]

1.2. Tipos de luminarias

En los siguientes puntos, abarcan los diferentes tipos de luminarias que existen en nuestro medio y se da a conocer sus definiciones y características fundamentales de cada una de ellas.

1.2.1. Luminarias Incandescentes

Es un dispositivo que produce haz de luz mediante el calentamiento por efecto Joule de un filamento metálico de un material llamado wolframio, hasta ponerlo al rojo blanco, mediante del paso de corriente eléctrica. [25][13]

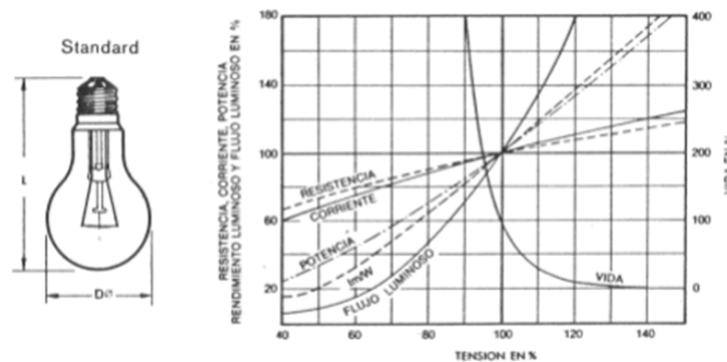


Figura 1.5: Rendimiento Luminaria Incandescente[5]

La eficacia luminosa o rendimiento de una lámpara se expresa como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida. La eficacia de las lámparas de incandescencia es la más baja de todas las lámparas y es del orden de 8 Lm/W para lámparas de pequeña potencia y del orden de 20 Lm/W para las de gran potencia.

No debemos confundir la eficacia de una lámpara con el rendimiento de la transformación "energía eléctrica energía luminosa". Casi la totalidad de la energía eléctrica aplicada a las lámparas se transforma en calor, y solamente una pequeñísima parte se transforma en luz, es difícil encontrar rendimientos peores.

El flujo luminoso de las lámparas de incandescencia no es constante a lo largo de toda su vida. [5]

1.2.1.1. Características de las lámparas incandescentes

- Es la de más bajo rendimiento luminoso.
- Tiene menor durabilidad.
- Es la más difundida, por su bajo precio y el color cálido de su luz.
- Logra contener todas las longitudes de onda en la parte que emite del espectro.
- Su eficiencia es muy baja, ya que solo convierte en trabajo (luz visible) alrededor del 15 % de la energía consumida. Otro 25 % será transformado en energía calorífica y el 60 % restante en radiación no perceptible, luz ultravioleta y luz infrarroja, que igual terminan convirtiéndose en calor.
- Flujo luminoso emitido no es constante en toda su vida, esto debido al efecto de evaporación.

1.2.2. Luminarias Fluorescentes

Son lámparas de descarga en atmósfera de mercurio a baja presión en las que la generación de luz se debe, principalmente, al fenómeno de la fotoluminiscencia. Este tipo de lámparas necesitan para su funcionamiento la presencia de elementos auxiliares, para limitar la corriente que atraviesa el tubo de descarga utilizan el balasto y para el encendido existen varias posibilidades que se pueden resumir en arranque con cebador o sin él. Son lámparas con casquillo de rosca o bayoneta, elaboradas para sustituir a las lámparas incandescentes con ahorros de hasta el 70 % de energía y unas buenas prestaciones. Además el rendimiento en color de estas lámparas varía de moderado a excelente según las sustancias fluorescentes empleadas. Para las destinadas a usos habituales que no requieran de gran precisión. De igual forma la apariencia y la temperatura de color varía según las características concretas de cada lámpara.[25][13]

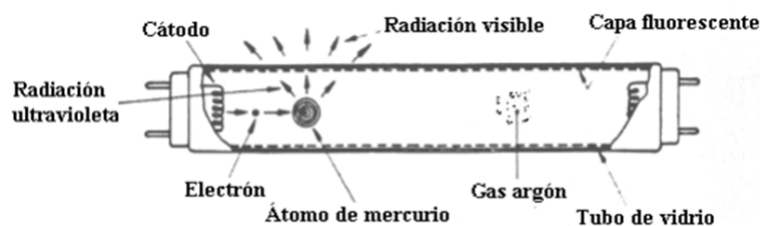


Figura 1.6: Luminaria Fluorescente[5]

1.2.2.1. Características de las lámparas fluorescentes

- El rendimiento en color de estas lámparas varía de moderado a excelente según las sustancias fluorescentes empleadas.
- De igual forma la apariencia y la temperatura de color varía según las características concretas de cada lámpara.
- La máxima emisión se produce cuando la presión de vapor es del orden de los 0.8 Pa correspondiendo a una temperatura de funcionamiento de 40°C.
- La vida útil de una lámpara fluorescente acaba cuando se agotan sus electrodos llegando a ser aproximadamente 10000horas.
- Tienen una larga vida útil, superior a las 8000 horas que en las lámparas LED es de 50,000.[1]
- Pero, el uso de las lámparas y tubos fluorescentes tiene implicancias ambientales, ya que contienen Mercurio, un potente contaminante.[1]

1.2.3. Ahorradores

Los focos ahorradores son lámparas fluorescentes compactas autobalastadas que proporcionan un flujo luminoso igual al de los focos tradicionales pero con un menor consumo de energía. Funcionan por medio de un gas que ioniza y provoca la iluminación en conjunto con la pintura blanca especial que tienen las paredes interiores del tubo. Estos focos consumen hasta un 80 % menos energía, producen más luminosidad por watt y duran hasta 8 veces más que los focos tradicionales. [2]

A continuación en la gráfica se presentan los diferentes tipos de focos ahorradores que existen en la venta.



Figura 1.7: Tipos de Ahorradores [2]

Y en la siguiente gráfica, se muestra una comparación en el consumo de focos ahorradores con el incandescente.

Foco ahorrador	Foco tradicional
9w	40 w
13w	40 w
15w	60 w
20w	75 w
24w	100 w
28w	100 w
55w	200 w
65w	250 w

Figura 1.8: Comparación [2]

1.2.4. LED's

Este tipo de luminarias representa un avance considerable en materia de aprovechamiento energético, ya que resultan ser las más eficientes hasta el día de hoy. Sin embargo al mismo tiempo que son las más eficientes del mercado, aún no ha ingresado en los servicios de la iluminación sobre todo por su costo que aún es alto, a considerar en relación a los costos de los otros sistemas de iluminación.

LED es un diodo que emite luz brillante, además genera poco calor, y no produce gases venenosos, no es fácilmente dañado por alto voltaje, por lo que ha sido reconocido alrededor del mundo como una nueva generación de productos ambientales y de alta tecnología.[23]

1.2.4.1. Módulos LED

Los módulos LED se componen de un cuerpo plástico cubierto de una capa pegamento transparente que hermetiza todo el equipo, haciendo posible su utilización en ambientes exteriores y resistentes al agua, excelente disipación de calor, de fácil montaje, bajo consumo y larga duración. [23]



Figura 1.9: Módulos LED's [23]

1.2.4.2. Características de los LED's

- Los sistemas de iluminación LED no se desgastan fácilmente y proporcionan al mismo tiempo una intensidad de luz constante a través de un largo período.
- 100,000 horas de tiempo de vida: puede ser usado por 20 años, asumiendo que se usarán los 365 días del año, 12 horas al día.
- Ahorrador de energía, (consumo muy bajo de potencia).
- Luz súper alta: existen módulos de 1,2 y 3 focos con luz súper alta. Colores como el rojo, ámbar, azul verde, blanco y RGB están disponibles.
- Ambiente de trabajo: Puede ser utilizado con seguridad ya sea al interior o al exterior a temperaturas de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$ y humedad $< 65\%$.
- Instalación rápida: Los nuevos modelos de LED's son de 12VDC, conexiones uniformes haciendo que la instalación sea fácil y rápida para todo tipo de cajas de luz. También afirma un traslado seguro.
- La alta eficiencia y alta iluminación están de acuerdo a los estándares de calidad.[23]
- Alta eficacia luminosa.
- Generan muy poco calor.
- Alta resistencia a los golpes y vibraciones.
- Larga vida de 50000 a 100000horas.
- Es posible la fabricación de varios colores porque se fabrica con un chip reflector.

1.3. Iluminación Inteligente

La iluminación inteligente significa una iluminación de calidad y eficiente, es una iluminación efectiva debido a que reduce el precio de las facturas y también en los gastos que se realiza para el mantenimiento, además lo más importante es que cuida el medio ambiente y nos proporciona una facilidad para una vida más cómoda y para un ambiente tranquilo.



Figura 1.10: Iluminación Inteligente [30]

La Eficiencia Energética se basa en hacer un uso racional de la energía, manteniendo o incluso mejorando, el nivel de confort o de producción de un servicio mientras se disminuye su gasto energético asociado. Desde el punto de vista económico, es evidente que en cualquier sector el buen uso de la energía aumenta la rentabilidad y la competitividad, ya que optimiza la relación entre la energía consumida y los productos y servicios obtenidos. [17]

Un sistema de control inteligente es capaz de detectar la presencia de personas o vehículos, aumentar la intensidad de la luz a su paso y rebajarla (o anularla) ante la ausencia de movimiento. También puede regular el brillo en función de la luz natural que recibe o de la hora del día. [17]

El mayor gasto que se produce en la sociedad debido a los negocios, edificios, hospitales y lo que los ciudadanos consumen es en la iluminación. Entonces cuando se necesita iluminar durante todo el día y toda la noche, y sobre todo cuando en las calles no debe faltar luz, es cuando se produce un gasto necesario. Por lo tanto se puede reducir el valor de la iluminación con el uso de un sistema de iluminación inteligente LED.



Figura 1.11: Iluminación Inteligente [4]

La capacidad de las lámparas LED para regular su intensidad sin desperdiciar energía y para funcionar a pleno rendimiento al instante de encenderse las hace especialmente adecuadas para sistemas de detección de movimiento y presencia. Estos sistemas gestionan automáticamente la intensidad o el encendido de las luminarias en función de la presencia y el movimiento de personas. [20]

La nueva tecnología tiene como concepto central que la iluminación LED presenta una nueva oportunidad para crear una red energética unificada, basada en una plataforma digital para edificios inteligentes. Esto permite ayudar a reducir los costos energéticos, tanto para arquitectos, emprendedores y diseñadores como para los mismos propietarios de los inmuebles. [11]

Además, los sistemas de control avanzados de iluminación comunican inmediatamente cualquier incidencia que se produzca en una luminaria, reduciendo al mínimo el tiempo de respuesta y, por lo tanto, el impacto que la falta de luz tiene sobre la actividad en el edificio. Los sistemas de iluminación inteligente se pueden aplicar a espacios interiores, al exterior de los edificios y al alumbrado de calles y carreteras para conseguir la iluminación más adecuada para cada espacio en cualquier momento. [17]

Para los espacios internos como centros educativos, comerciales y de salud, almacenes, fábricas, por ejemplo; el objetivo es lograr el mayor ahorro energético posible y ofrecer, al mismo tiempo, bienestar, confort y el mejor ambiente de trabajo para las personas que se encuentran en ellos. [17]



Figura 1.12: Iluminación Inteligente en el Interior de un Hogar [6]

2 Análisis de los Sectores Críticos en Iluminación en la UPS

En este capítulo se describe el planteamiento del método de medición de la calidad lumínica, el proceso para el Benchmarking, además se establece todos los cálculos y mediciones que servirán para la construcción del sistema de iluminación inteligente.

Se especifican las normas internacionales para conocer los niveles de iluminación que se requiere en los sectores establecidos de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

Por último, el capítulo da a conocer un análisis de eficiencia energética; lo cual muestra las necesidades de ahorro tanto energético como económico.

2.1. Planteamiento del Método de Análisis

2.1.1. Planteamiento del método de medición de la calidad lumínica

Para el planteamiento de medición lumínica se investigaron distintas normas a nivel mundial, se tomó como norma principal la española, debido a que es una de la pioneras en la parte de reglamentos en iluminación artificial como inteligente.

A su vez se investigó la normativa argentina, ya que esta tiene una gran aceptación a nivel de américa latina y por último se consultó la normativa ecuatoriana.

Se realizó una comparación con las distintas normas mencionadas, para así verificar los distintos rangos de calidad que se deben establecer en iluminación de los sectores que se han trabajado en este proyecto.

- Según la norma Española:

ZONA O PARTE DEL LUGAR DE TRABAJO	NIVEL MÍNIMO DE ILUMINACION (Lux)
Zona donde se ejecuten tareas como:	
1. Bajas exigencias visuales	100
2. Exigencias visuales moderadas	200
3. Exigencias visuales altas	500
4. Exigencias visuales muy altas	1000
Áreas o locales de uso ocasional	50
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Cuadro 2.1: Niveles de iluminación según la norma Española (EN 12464-1: 2002)[27]

- Según la norma Argentina:

ZONA O PARTE DEL LUGAR DE TRABAJO	NIVEL MÍNIMO DE ILUMINACION (Lux)
Tareas que no exigen esfuerzo visual: tránsito por vestíbulos y pasillos, almacenajes, carga y descarga de elementos no peligrosos.	50
Tareas que exigen poco esfuerzo visual: trabajos generales que se realizan en sala de calderas, depósitos de materiales, habitaciones de aseo, escaleras, etc.	100
Tareas que exigen esfuerzo visual corriente. Distinción moderada de detalles, grado normal de contraste y espacios de tiempo intermitentes, tales como: trabajos en máquinas automáticas, mecánica automotriz, embalaje y expedición, salas de archivos y conferencias, etc.	200
Tareas que exigen bastante esfuerzo visual: trabajos prolongados que requieren, fina distinción de detalles, grado moderado de contraste y largos espacios de tiempo, tales como: trabajos comunes de banco en taller y montajes, trabajos en maquinarias, inspección y montaje, trabajos de oficina, etc.	400
Tareas que exigen gran esfuerzo visual: trabajos de precisión que requieren, fina distinción de detalles, grado mediano de contraste y largos espacios de tiempo, tal como: trabajos a gran velocidad, acabados finos, pintura extra fina, costuras en ropa oscura, mesas de dibujo, etc.	700
Tareas que exigen máximo esfuerzo visual: trabajos de precisión máxima que requieren finísima distinción de detalles, condiciones de contraste deficientes y largos espacios de tiempo.	1500

Cuadro 2.2: Niveles de iluminación según la norma Argentina (Iram AADL J 20-06), Decreto 4160 Reglamentario de la Ley Nacional Nro. 19.587[7]

- Según la norma Ecuatoriana:

ZONA O PARTE DEL LUGAR DE TRABAJO	NIVEL MÍNIMO DE ILUMINACION (Lux)
Pasillos, patios y lugares de paso	20
Operaciones en las que la distinción no sea esencial como manejo de materias, desechos de mercancías, embalaje, servicios higiénicos.	50
Sea necesaria una ligera distinción de detalles, como: fabricación de productos de hierro y acero, talleres textiles y de industria manufacturera, salas de máquinas y calderos, ascensores.	100
Esencial una distinción moderada de detalles, como: talleres de metal mecánica, costura, industria de conserva, imprentas.	200
Siempre que sea esencial la distinción media de detalles, como: trabajos de montaje, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía.	300
Trabajos en que sea indispensable una fina distinción de detalles, bajo condiciones de contraste como: corrección de pruebas, fresado y torneado, dibujo.	500
Trabajos en que exijan una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste difíciles, como: trabajo con colores o artísticos, inspección delicada, montajes de precisión electrónicos, relojería.	1000

Cuadro 2.3: Niveles de iluminación según la norma Ecuatoriana (Reglamento de Seguridad, Decreto No. 2393, Registro Oficial No. 249, Febrero 3/98)[8]

A continuación se observan las siguientes tablas comparativas, para observar los diferentes niveles de iluminación que asignan las normativas mencionadas, para distintos espacios seleccionados.

(a) Comparación 1

NORMA	BIBLIOTECA	SALA DE PROFESORES	TALLERES DE ENSEÑANZA
Española	500 lux	300 lux	500 lux
Argentina	400 lux	200 lux	400 lux
Ecuatoriana	500 lux	200 lux	300 lux

(b) Comparación 2

NORMA	IMPRESAS	SALAS DE MÁQUINAS	CIRCULACIÓN DE USO HABITUAL
Española	500 lux	200 lux	100 lux
Argentina	400 lux	200 lux	50 lux
Ecuatoriana	300 lux	100 lux	20 lux

(c) Comparación 3

NORMA	DIBUJO	ESCALERAS	RELOJERÍA
Española	1000 lux	100 lux	1500 lux
Argentina	700 lux	100 lux	1500 lux
Ecuatoriana	500 lux	100 lux	1000 lux

Cuadro 2.4: Comparación entre las distintas normativas de Iluminación. (Española, Argentina y Ecuatoriana)

2.1.2. Planteamiento de los lugares críticos en iluminación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

Con el fin de determinar lugares críticos de iluminación, en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, se optó por elegir sectores estratégicos que representen gran parte de los ambientes de la Universidad.

- Sala de profesores

Este ambiente es similar a las oficinas administrativas que posee la Universidad. En este sector específico existe una mala distribución de las instalaciones eléctricas que provoca una gran ineficiencia energética debido a que existe un solo mando para encender o apagar todas las luminarias de la sala, independientemente de cuantas personas estén en sus oficinas.

- Biblioteca

Debido al gran consumo eléctrico que se evidencia, al elevado número de personas que puede recibir y a que posee ventanas que permiten el ingreso de una gran cantidad de luz natural, es importante que sea estudiado para maximizar la eficiencia energética.

- Laboratorios de eléctrica-electrónica

Este ambiente puede representar de manera cercana a todos los laboratorios que posee la Universidad. Este sector en específico puede albergar a una gran cantidad de personas y posee ingresos de luz natural que podrían ayudar a reducir el consumo eléctrico, debido a su gran extensión física y a que se encuentra dividido en varias aulas se elige una sola como ejemplo.

- Laboratorio mecánica

De este ambiente se toma una aula de enseñanza común, ya que podría ser utilizada como ejemplo para definir a las demás aulas de la universidad, debido a que posee características físicas similares como las dimensiones físicas y los ingresos de luz natural. Esta aula por el momento no se encuentra en uso, lo cual permite realizar modificaciones y mediciones en ella con el fin de presentar recomendaciones para el ahorro energético.



Figura 2.1: Lugares escogidos para representar los distintos ambientes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

2.1.3. Mediciones de la intensidad lumínica proveniente del ambiente de los lugares críticos en iluminación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

Para realizar las mediciones del nivel de iluminación natural que se provee al interior de los lugares críticos en iluminación, es necesario el planteamiento de un método de medición continua.

El método de medición se estableció basándose en el nivel de iluminación que el sol provee, las normas de iluminación nacional e internacionales y la hora del día. Debido a ello es necesario realizar mediciones constantes en cortos intervalos de tiempo.

Para realizar las mediciones se implementó un sistema microprocesado, el cual realiza mediciones del nivel de iluminación durante 5 días en intervalos regulares de 15 minutos mediante sensores ubicados, según recomienda la norma española de iluminación.

Los datos obtenidos a partir de las mediciones realizadas son esenciales para el planteamiento de recomendaciones para el ahorro energético en iluminación y el diseño de un sistema que sea capaz de administrar la iluminación artificial de una manera eficiente.

De las mediciones realizadas se obtuvo una gran cantidad de datos los cuales se encuentran graficados para cada uno de los sensores que se instalaron, se presentan tablas que muestran los valores más representativos que midió cada sensor y se muestran graficas de los valores medidos durante días laborables y no laborables, ya que los días no laborables muestran de manera real el aporte que la luz natural puede dar al ambiente de trabajo.

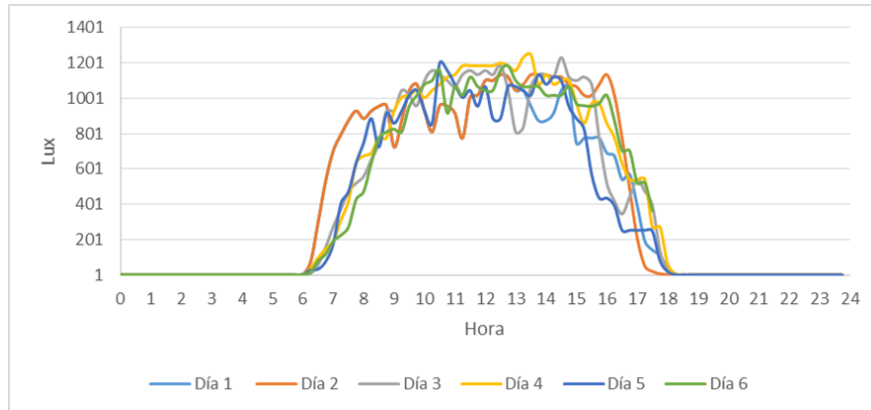


Figura 2.2: Ejemplo de mediciones realizadas

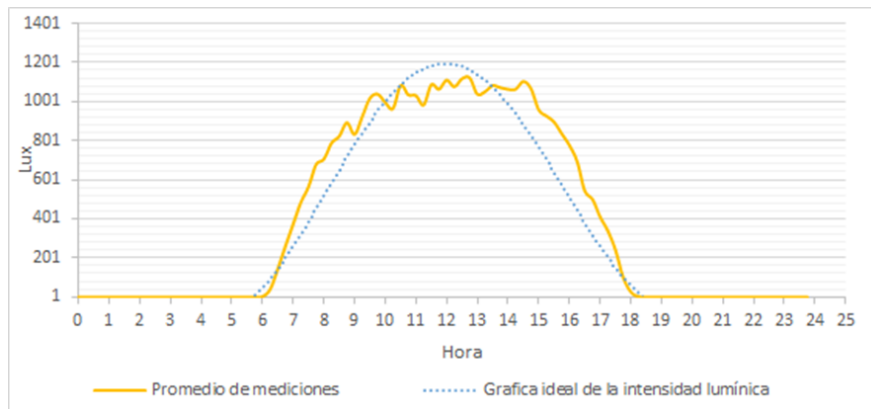


Figura 2.3: Ejemplo ideal y real de las mediciones del nivel de iluminación natural

La grafica ideal del nivel de iluminación es visualmente similar a una campana de gauss, pero las gráficas adquiridas por los sensores presentan perturbaciones producidas principalmente por las siguientes condiciones:

2.1 Planteamiento del Método de Análisis

- **Clima.**- El clima de la región es muy variable, la nubosidad influye directamente en la cantidad de luz que incide sobre la superficie de la tierra.
- **Orientación de las edificaciones.**- Se presentarán valores nominales de luz en la mañana o en la tarde dependiendo de la orientación de las ventanas.
- **Declinación del sol.**- El ángulo de declinación del sol en esta región es pequeño por lo cual se considera despreciable.

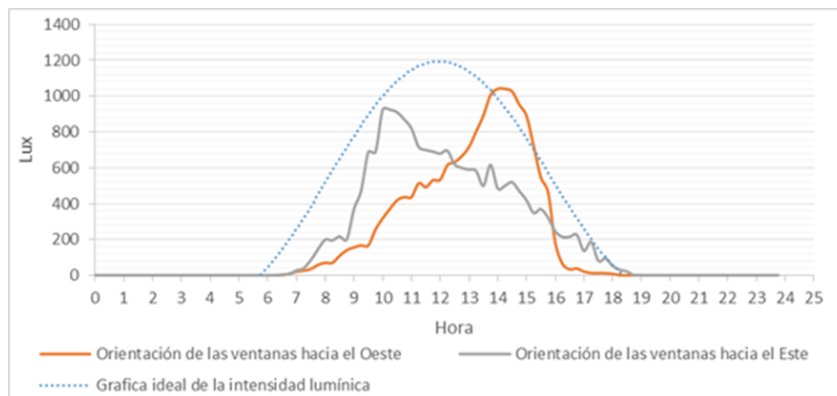


Figura 2.4: Índices de luz con respecto al ángulo de orientación de las ventanas



Figura 2.5: Gráfica polar del ángulo de inclinación del sol durante el año sobre la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca [9]

2.1.3.1. Mediciones en la sala de profesores

Las mediciones se realizaron durante 5 días completos desde el miércoles 19 de marzo de 2014 hasta el lunes 24 de marzo del 2014.

CODIGO DEL SENSOR	UBICACIÓN
SP1	El sensor se ubicó a la altura del escritorio, junto al teclado de la computadora.
SP2	El sensor se ubicó en el escritorio, en este lugar se debería medir y garantizar la cantidad de iluminación que la norma recomienda.
SP3	El sensor se ubicó en el pasillo sobre el piso como recomienda la norma Española.
SP4	El sensor se ubicó en uno de los escritorios cercanos a las ventanas, para poder observar la variación que presenta ya que se encuentra cerca a la fuente luz natural.

Cuadro 2.5: Ubicación de sensores en la sala de profesores

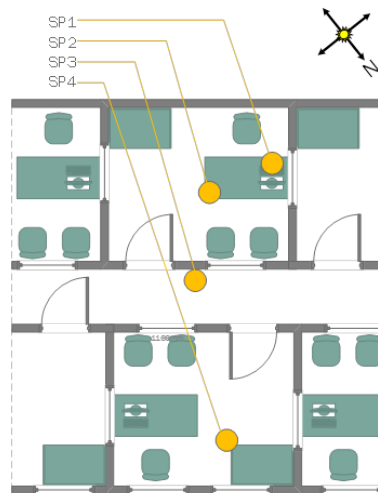


Figura 2.6: Ubicación de los sensores en la sala de profesores

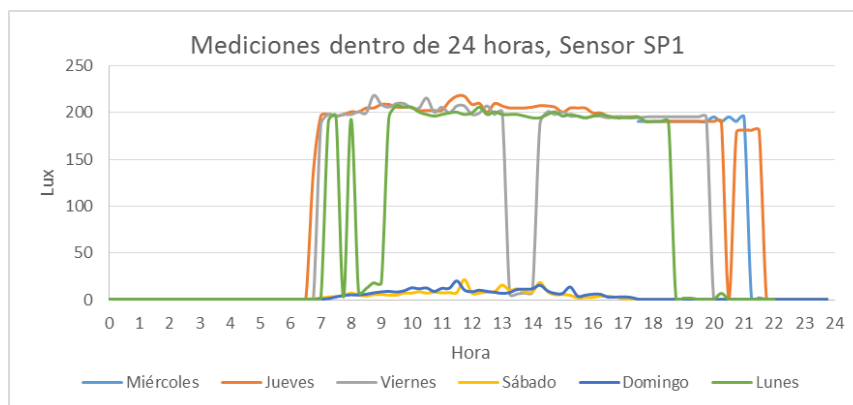


Figura 2.7: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SP1

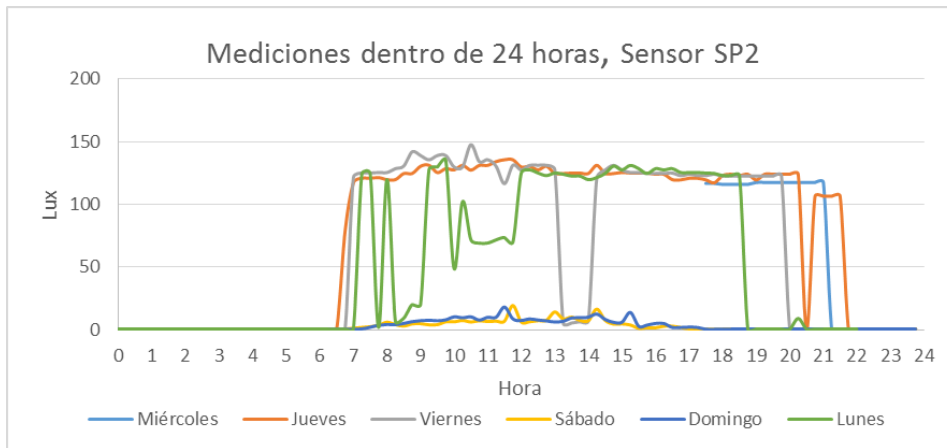


Figura 2.8: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SP2

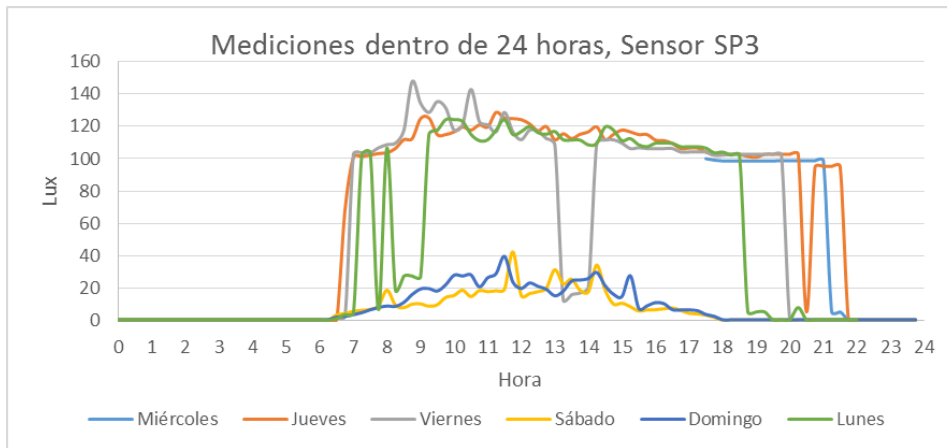


Figura 2.9: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SP3

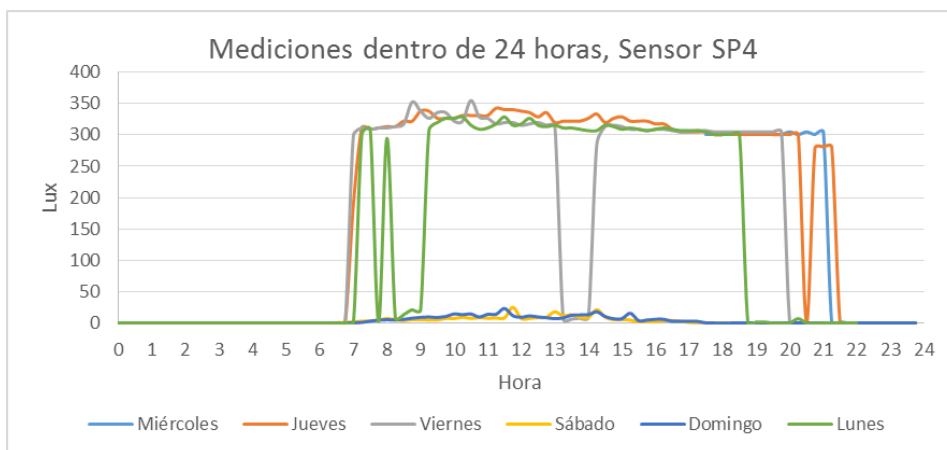


Figura 2.10: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SP4

	SP1	SP2	SP3	SP4
Promedio día laborable	173,97 Lux	107,41 Lux	98,28 Lux	273,81 Lux
Promedio día no laborable	6,58 Lux	5,52 Lux	14,16 Lux	7,41 Lux
Máximo día laborable	208,36 Lux	134,25 Lux	125,90 Lux	333,60 Lux
Mínimo día laborable	46,18 Lux	27,16 Lux	25,55 Lux	71,17 Lux
Máximo día no laborable	17,17 Lux	14,62 Lux	33,24 Lux	20,15 Lux
Mínimo día no laborable	0,56 Lux	0,47 Lux	0,61 Lux	0,56 Lux

Cuadro 2.6: Mediciones más representativas de los sensores en la sala de profesores

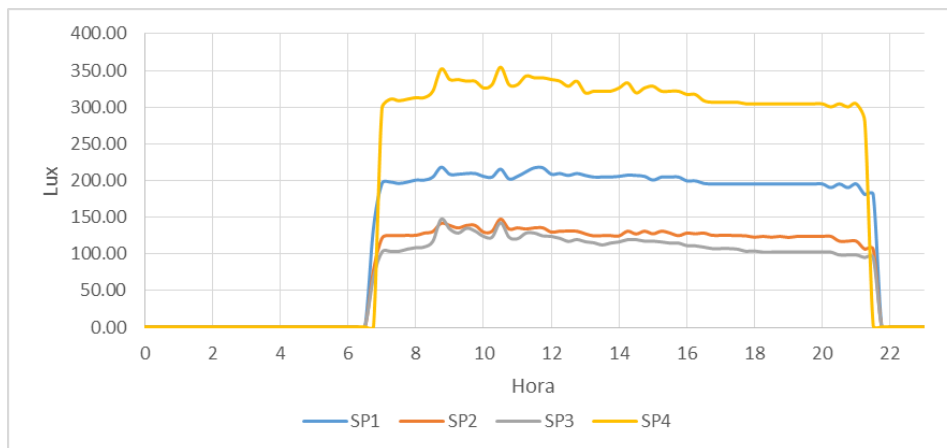


Figura 2.11: Valores máximos medidos por los sensores durante los días laborable en la sala de profesores

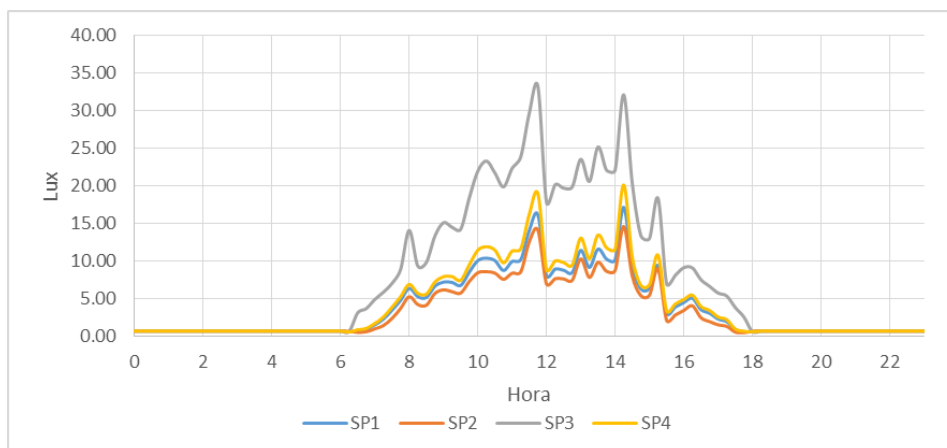


Figura 2.12: Valores promedio medidos por los sensores durante los días no laborable en la sala de profesores

2.1.3.2. Biblioteca

2.1.3.2.1 Planta baja

Las mediciones se realizaron durante 6 días desde el viernes 02 de mayo de 2014 hasta el miércoles 07 de mayo del 2014.

CODIGO DEL SENSOR	UBICACIÓN
SB11	El sensor se ubicó en el pasillo, sobre el piso del ingreso de la biblioteca.
SB12	El sensor se ubicó en el pasillo principal del primer piso de la biblioteca.
SB13	El sensor se ubicó sobre el escritorio del bibliotecario.
SB14	El sensor se ubicó sobre uno de los escritorios que se encuentran en la sala de la antigua biblioteca.

Cuadro 2.7: Ubicación de sensores en la planta baja

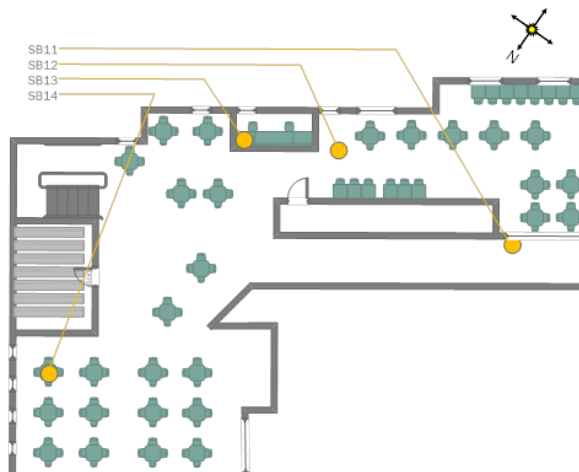


Figura 2.13: Ubicación de los sensores en la planta baja

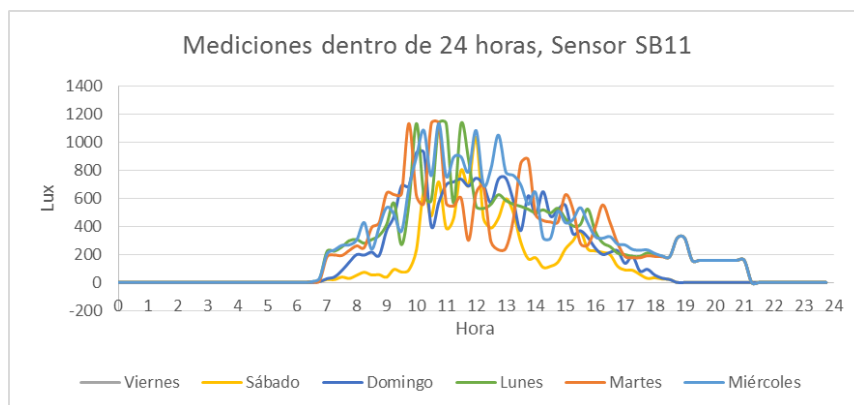


Figura 2.14: Medición de los índices de luz durante 6 días con el sensor SB11

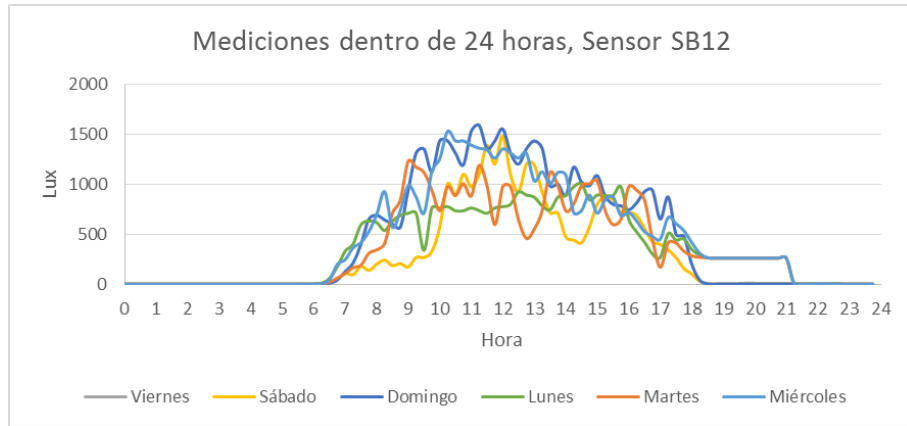


Figura 2.15: Medición de los índices de luz durante 6 días con el sensor SB12

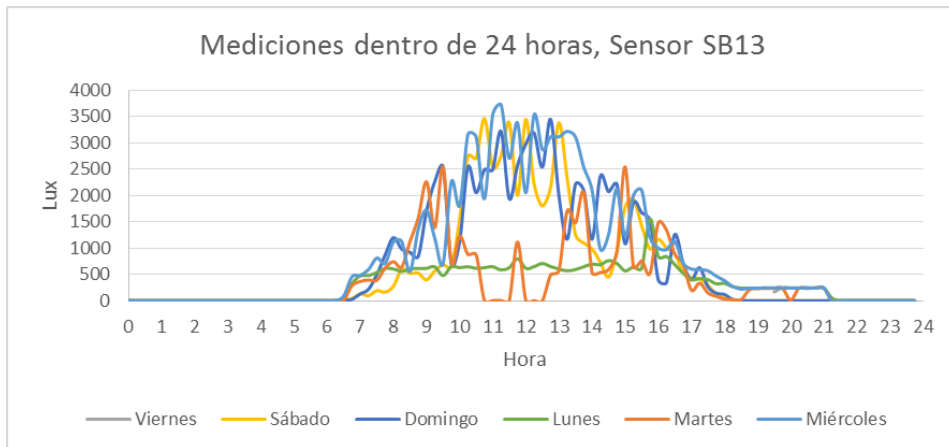


Figura 2.16: Medición de los índices de luz durante 6 días con el sensor SB13

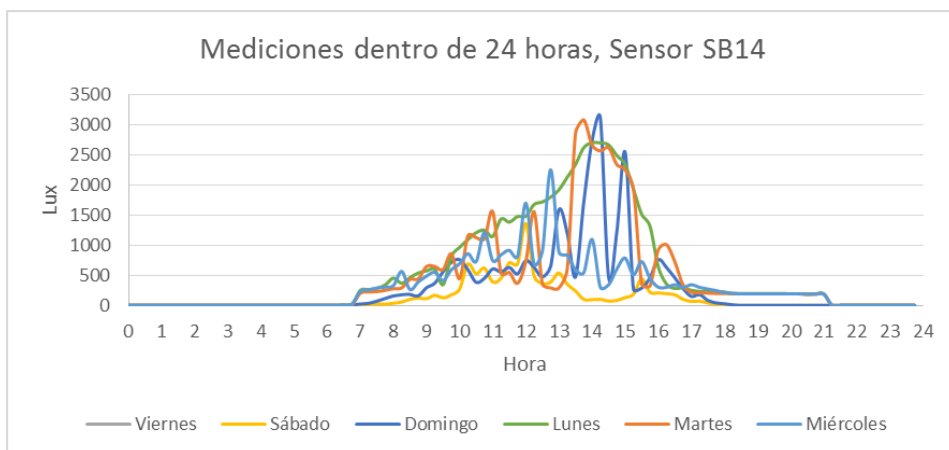


Figura 2.17: Medición de los índices de luz durante 6 días con el sensor SB14

	SB11	SB12	SB13	SB14
Promedio día laborable	429,67 Lux	654,07 Lux	881,38 Lux	738,85 Lux
Promedio día no laborable	404,19 Lux	897,63 Lux	1597,85 Lux	611,67 Lux
Máximo día laborable	1132,61 Lux	1094,58 Lux	1832,50 Lux	2152,56 Lux
Mínimo día laborable	0,68 Lux	2,60 Lux	13,25 Lux	0,67 Lux
Máximo día no laborable	1033,22 Lux	1588,04 Lux	3462,95 Lux	3113,73 Lux
Mínimo día no laborable	0,68 Lux	1,67 Lux	0,62 Lux	0,68 Lux

Cuadro 2.8: Mediciones más representativas de los sensores en la planta baja

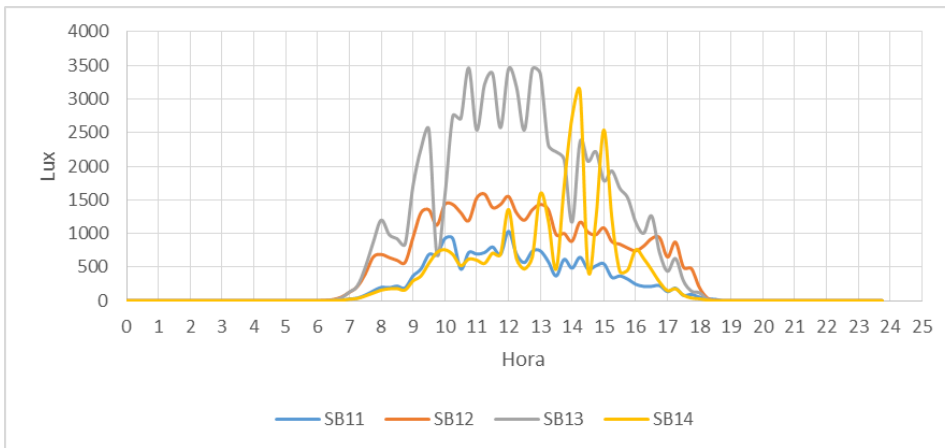


Figura 2.18: Valores promedio medidos por los sensores durante los días no laborable en la planta baja

2.1.3.2.2 Primera planta alta

Las mediciones se realizaron durante 6 días desde el miércoles 23 de abril de 2014 hasta el domingo 27 de mayo del 2014.

CODIGO DEL SENSOR	UBICACIÓN
SB21	El sensor se ubicó sobre un escritorio, cerca de las escaleras centrales de la biblioteca.
SB22	El sensor se ubicó en el pasillo principal del segundo piso de la biblioteca.
SB23	El sensor se ubicó sobre un escritorio, cerca del lado suroeste de la biblioteca.
SB24	El sensor se ubicó sobre un escritorio, cerca de las estanterías.

Cuadro 2.9: Ubicación de sensores en la primera planta alta

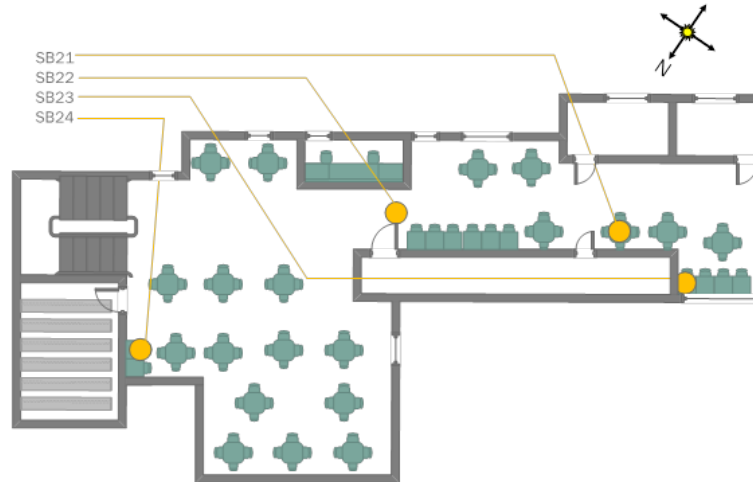


Figura 2.19: Ubicación de los sensores en la primera planta alta

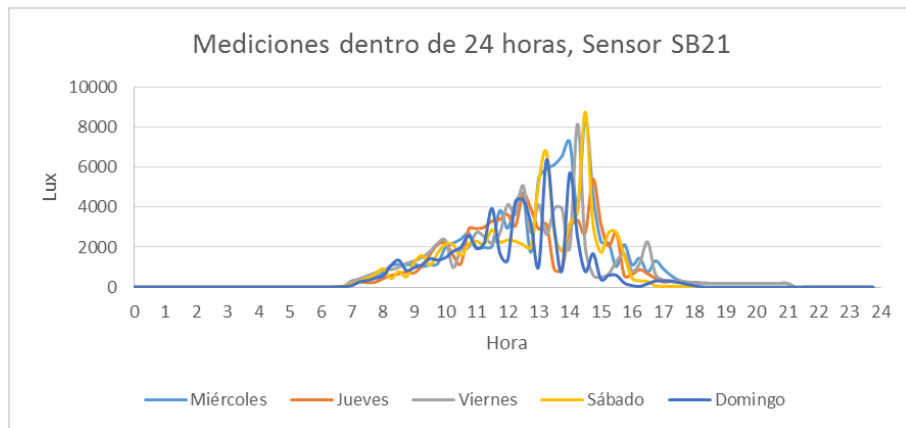


Figura 2.20: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SB21

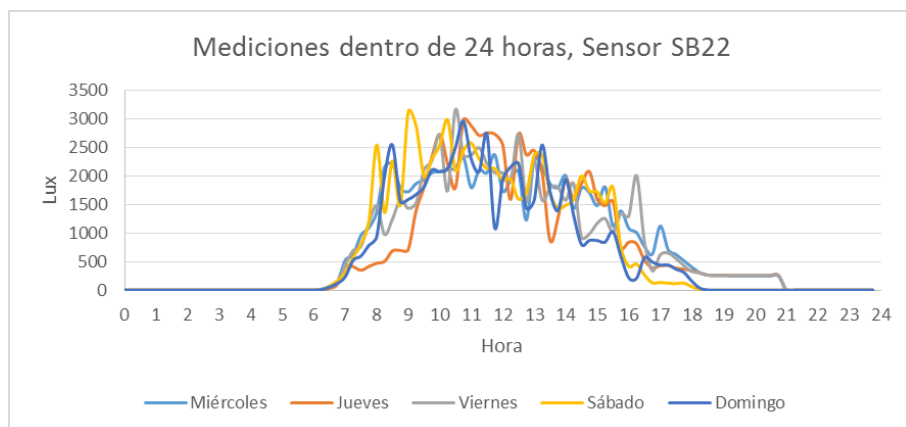


Figura 2.21: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SB22

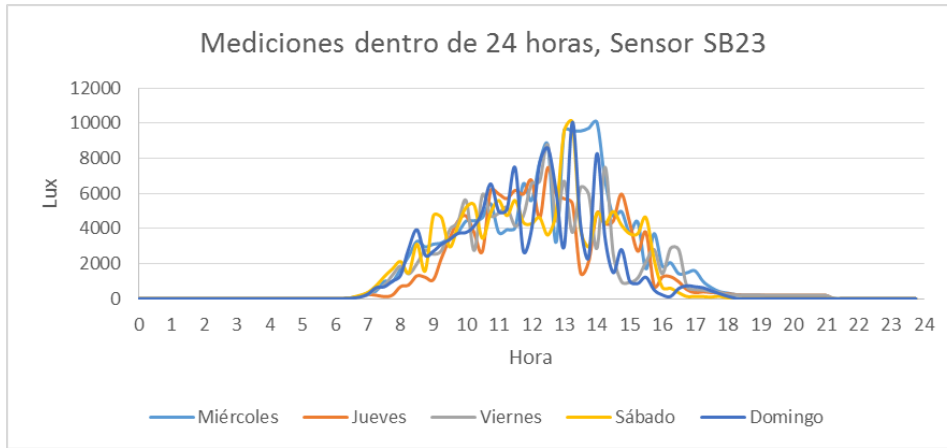


Figura 2.22: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SB23

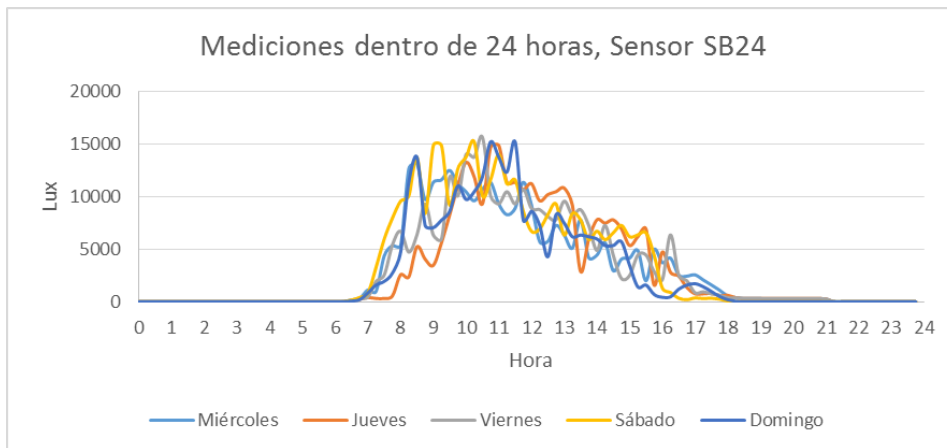


Figura 2.23: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SB24

	SB21	SB22	SB23	SB24
Promedio día laborable	1615,71 Lux	1231,12 Lux	2701,19 Lux	4991,35 Lux
Promedio día no laborable	1938,57 Lux	1541,52 Lux	3503,36 Lux	6984,96 Lux
Máximo día laborable	5138,36 Lux	2557,55 Lux	8327,72 Lux	12566,31 Lux
Mínimo día laborable	0,55 Lux	0,74 Lux	2,11 Lux	0,68 Lux
Máximo día no laborable	8753,93 Lux	3113,73 Lux	10060,61 Lux	15191,36 Lux
Mínimo día no laborable	0,68 Lux	1,24 Lux	0,47 Lux	0,50 Lux

Cuadro 2.10: Mediciones más representativas de los sensores en la primera planta alta

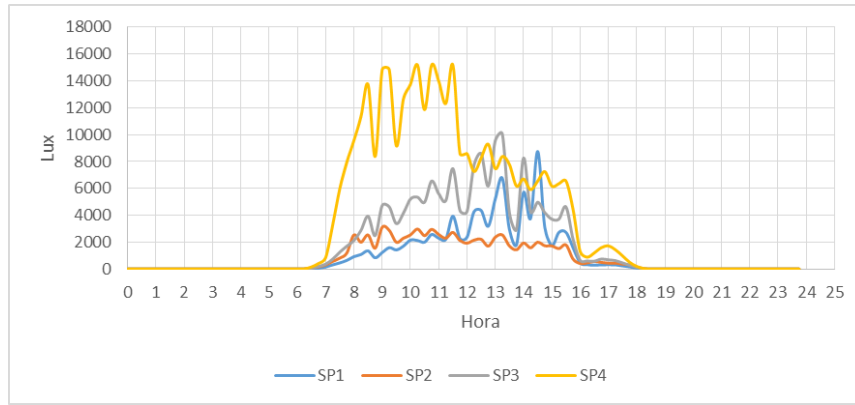


Figura 2.24: Valores promedio medidos por los sensores durante los días no laborable en la primera planta alta

2.1.3.2.3 Segunda planta alta

Las mediciones se realizaron durante 5 días desde el miércoles 16 de abril de 2014 hasta el domingo 20 de abril del 2014.

CODIGO DEL SENSOR	UBICACIÓN
SB31	El sensor se ubicó sobre uno de los escritorios de las oficinas de archivo que se encuentran en el lado norte de la biblioteca.
SB32	El sensor se ubicó en el pasillo principal del tercer piso de la biblioteca.
SB33	El sensor se ubicó sobre un escritorio, cerca del lado suroeste de la biblioteca.
SB34	El sensor se ubicó sobre el escritorio del bibliotecario.

Cuadro 2.11: Ubicación de sensores en la segunda planta alta

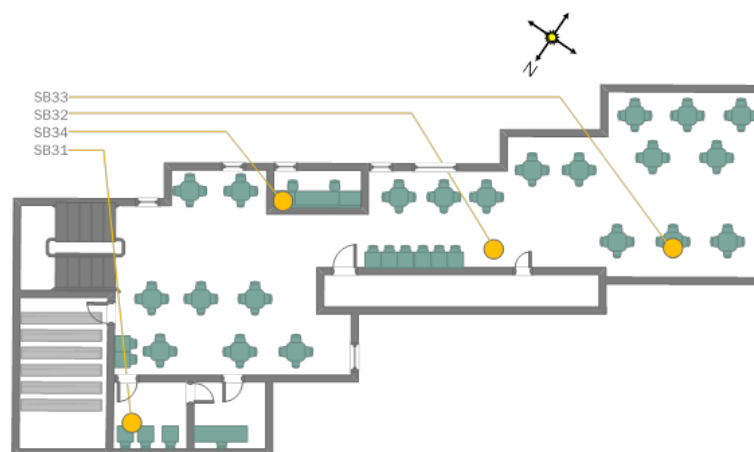


Figura 2.25: Ubicación de los sensores en la segunda planta alta

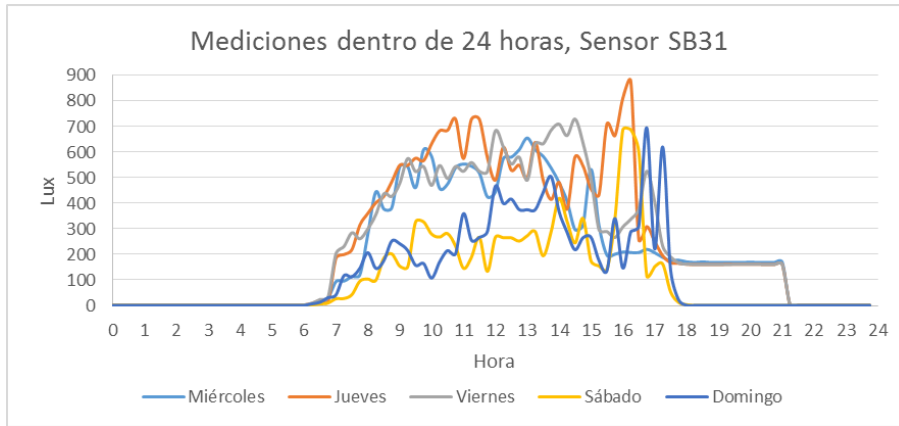


Figura 2.26: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SB31

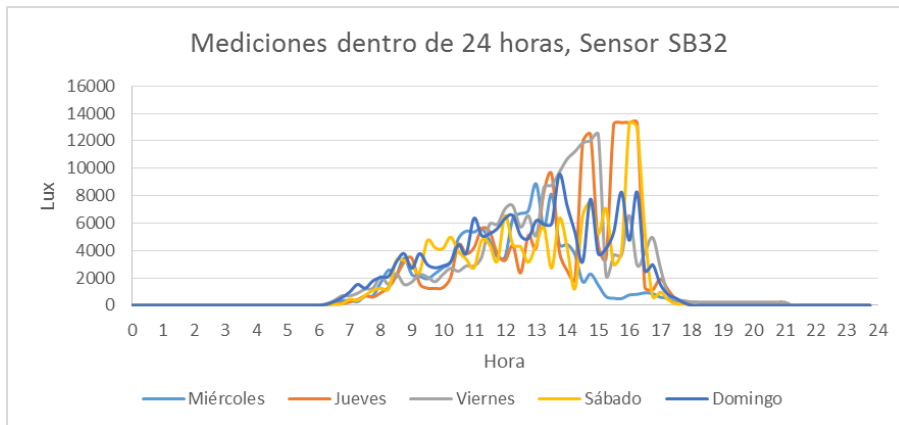


Figura 2.27: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SB32

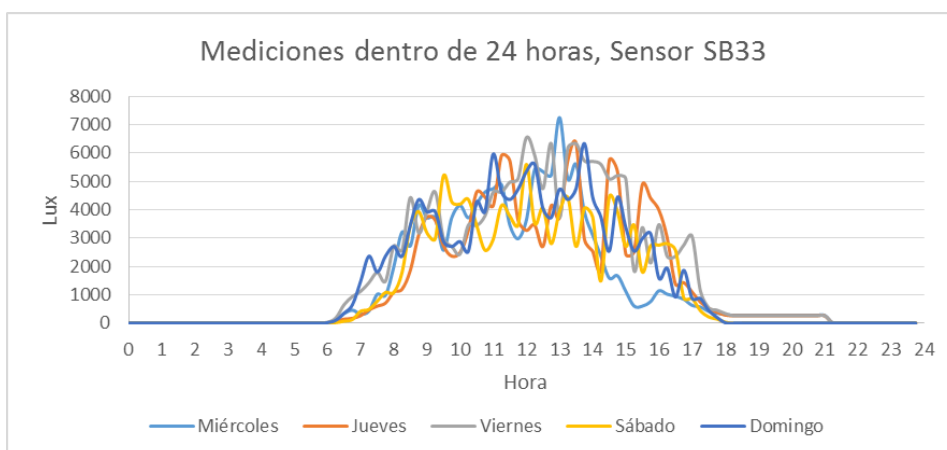


Figura 2.28: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SB33

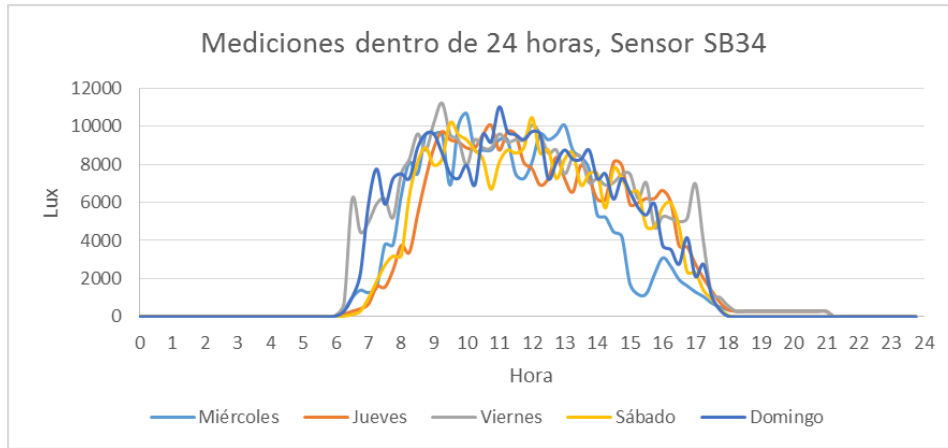


Figura 2.29: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SB34

	SB31	SB32	SB33	SB34
Promedio día laborable	383,18 Lux	3025,27 Lux	2474,46 Lux	5091,75 Lux
Promedio día no laborable	224,85 Lux	3587,73 Lux	2731,90 Lux	6031,70 Lux
Máximo día laborable	627,21 Lux	8931,61 Lux	6095,38 Lux	10181,23 Lux
Mínimo día laborable	0,68 Lux	0,69 Lux	3,00 Lux	0,63 Lux
Máximo día no laborable	488,51 Lux	10635,25 Lux	5477,22 Lux	10091,50 Lux
Mínimo día no laborable	0,71 Lux	9,65 Lux	12,90 Lux	25,90 Lux

Cuadro 2.12: Mediciones más representativas de los sensores en la segunda planta alta

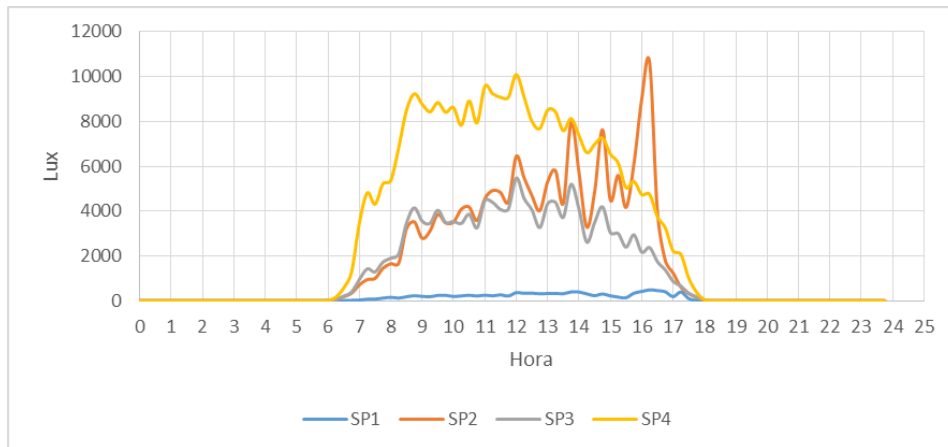


Figura 2.30: Valores promedio medidos por los sensores durante los días no laborable en la segunda planta alta

Los bajos niveles de luz medidos por el sensor SP1, se deben a que este se encuentra

dentro de las oficinas administrativas de la biblioteca en donde existen pequeñas ventanas que permiten un muy bajo ingreso de luz natural.

2.1.3.3. Laboratorios de eléctrica – electrónica

Las mediciones se realizaron durante 6 días desde el sábado 10 de mayo de 2014 hasta el jueves 15 de mayo del 2014.

Se escogió un área específica de los laboratorios (laboratorio de suministros) para realizar las mediciones.

CODIGO DEL SENSOR	UBICACIÓN
SE1	El sensor se ubicó a la altura de un escritorio en una sección poco iluminada de luz natural.
SE2	El sensor se ubicó a la altura de un escritorio cerca de una ventana en donde existe gran intensidad de iluminación natural.
SE3	El sensor se ubicó a la altura de un escritorio, en una sección medianamente iluminada de luz natural.
SE4	El sensor se ubicó sobre el escritorio del laboratorista.

Cuadro 2.13: Ubicación de sensores en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

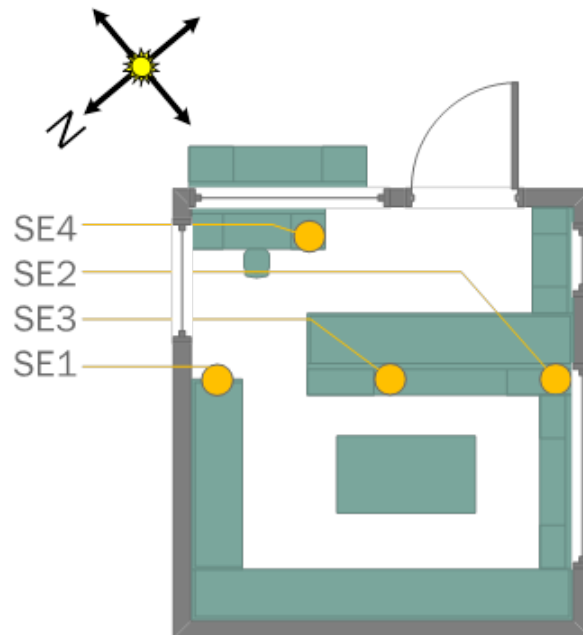


Figura 2.31: Ubicación de los sensores en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

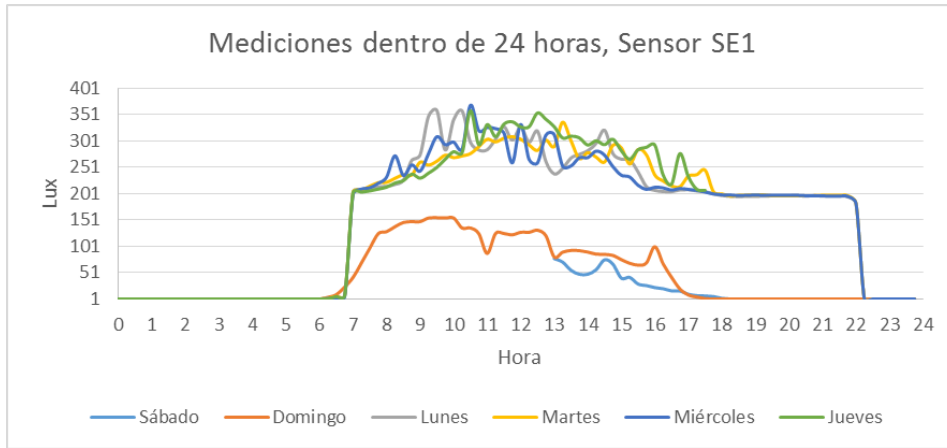


Figura 2.32: Medición de los índices de luz durante 6 días con el sensor SE1

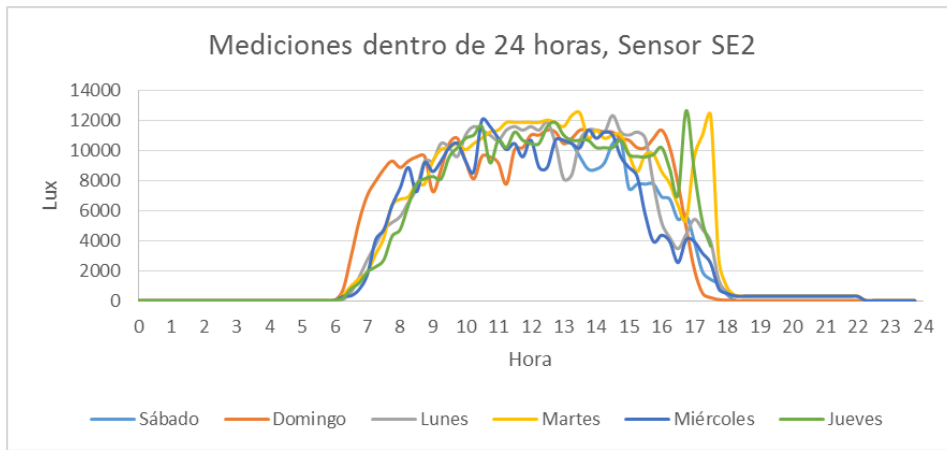


Figura 2.33: Medición de los índices de luz durante 6 días con el sensor SE2

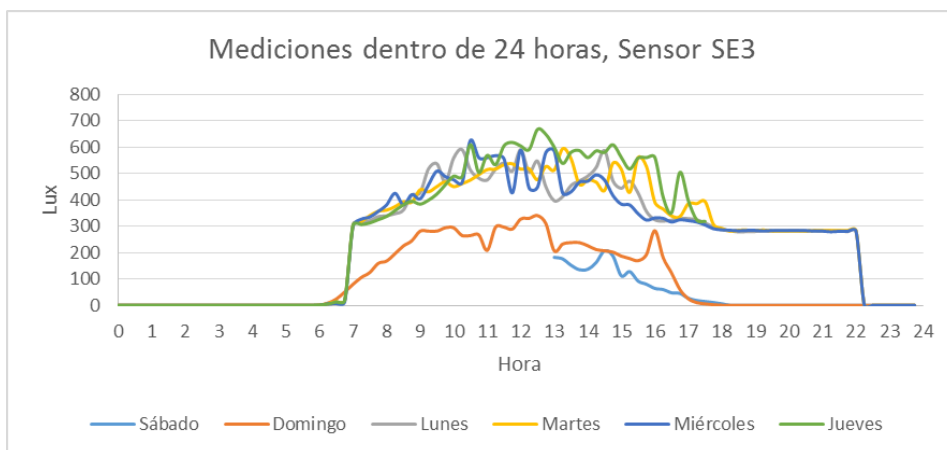


Figura 2.34: Medición de los índices de luz durante 6 días con el sensor SE3

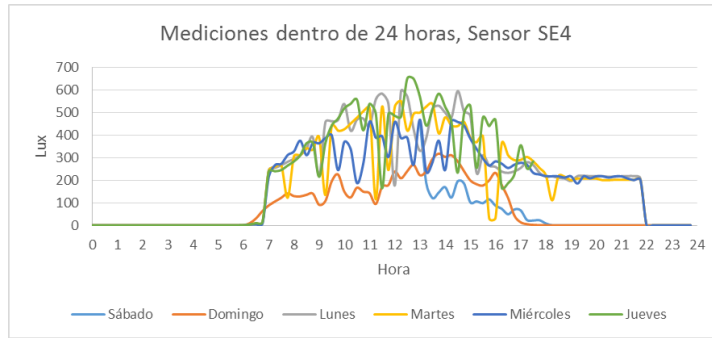
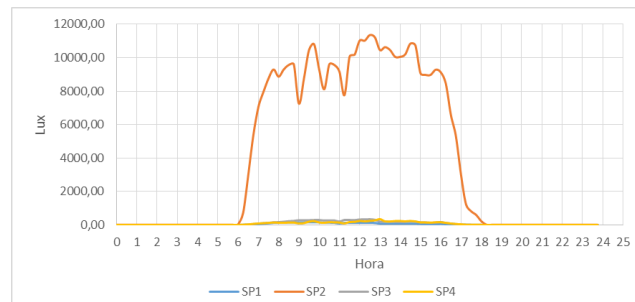


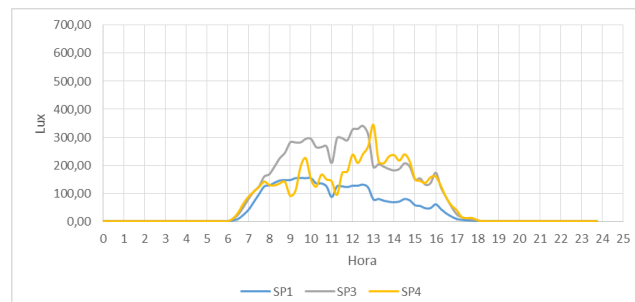
Figura 2.35: Medición de los índices de luz durante 6 días con el sensor SE4

	SE1	SE2	SE3	SE4
Promedio día laborable	248,85 Lux	6763,26 Lux	410,53 Lux	331,66 Lux
Promedio día no laborable	82,43 Lux	7964,41 Lux	176,50 Lux	140,10 Lux
Máximo día laborable	325,52 Lux	11440,24 Lux	575,24 Lux	507,09 Lux
Mínimo día laborable	196,51 Lux	298,16 Lux	281,91 Lux	182,18 Lux
Máximo día no laborable	155,00 Lux	11352,52 Lux	340,85 Lux	344,66 Lux
Mínimo día no laborable	0,50 Lux	41,02 Lux	1,32 Lux	0,56 Lux

Cuadro 2.14: Mediciones más representativas de los sensores en el Laboratorio de eléctrica – electrónica



(a) Gráfica 1



(b) Gráfica 2

Figura 2.36: Valores promedio medidos por los sensores durante los días no laborable en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

El sensor SP2 mide altos niveles de iluminación debido a que se encuentra junto a una ventana y es irradiado directamente por el sol.

2.1.3.4. Laboratorio mecánica

Las mediciones se realizaron durante 5 días desde el miércoles 21 de mayo de 2014 hasta el domingo 25 de mayo del 2014.

Se escogió un área específica de los laboratorios (laboratorio que posee iluminación led) para realizar las mediciones.

CODIGO DEL SENSOR	UBICACIÓN
SM1	El sensor se ubicó a la altura de un escritorio en un lugar lejano a la fuente de luz natural, cerca de la puerta.
SM2	El sensor se ubicó a la altura de un escritorio, cerca de la ventana.
SM3	El sensor se ubicó a la altura de un escritorio, en la esquina del aula que menos luz natural poseía.
SM4	El sensor se ubicó a la altura de un escritorio, al centro del aula.

Cuadro 2.15: Ubicación de sensores en el Laboratorio de mecánica

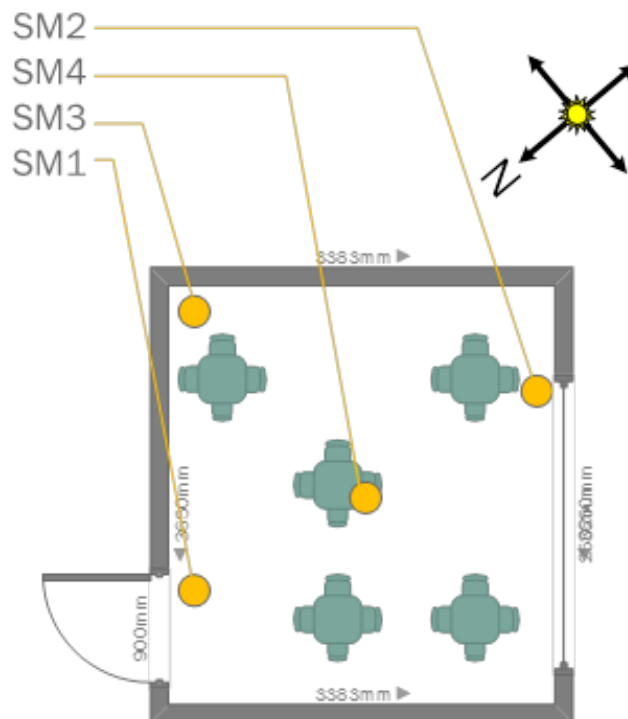


Figura 2.37: Ubicación de los sensores en el Laboratorio de mecánica

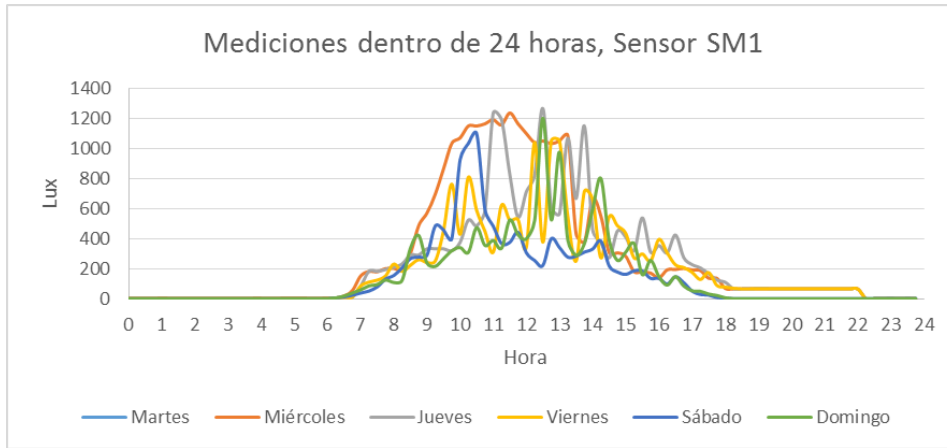


Figura 2.38: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SM1

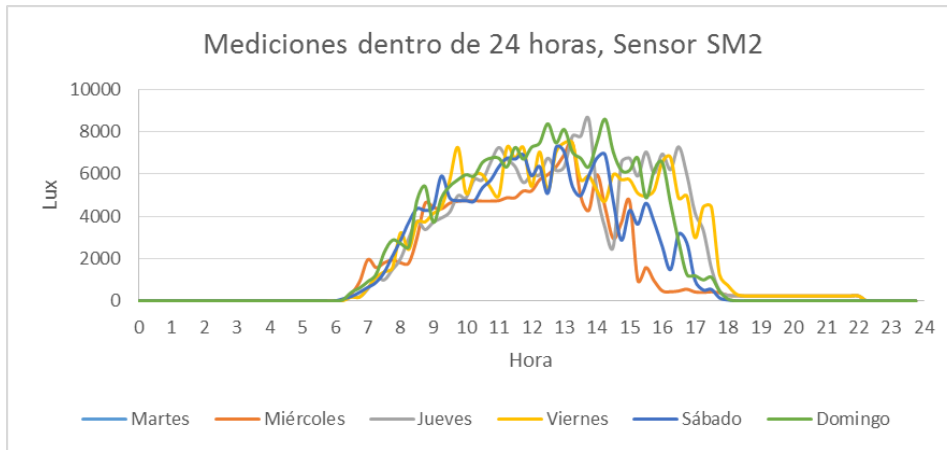


Figura 2.39: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SM2

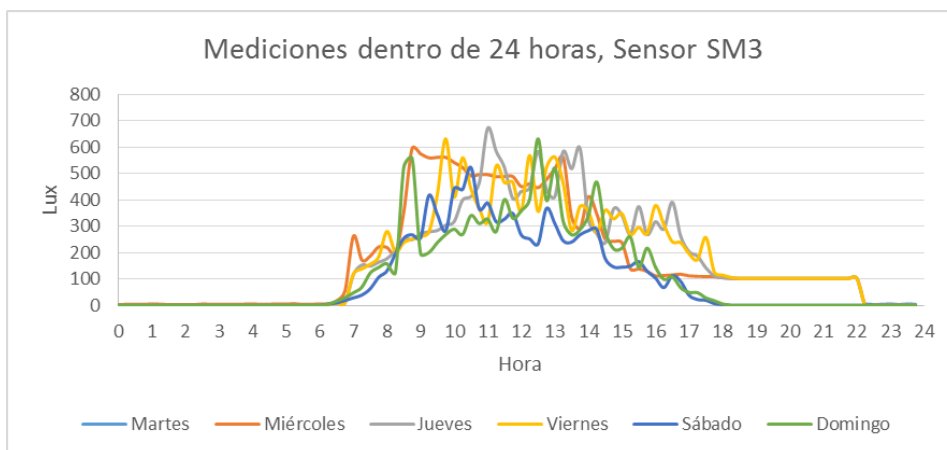


Figura 2.40: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SM3

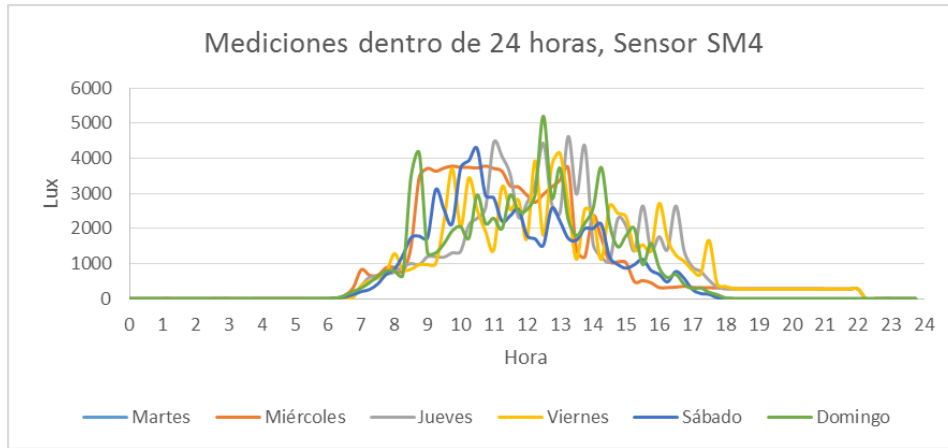


Figura 2.41: Medición de los índices de luz durante 5 días con el sensor SM4

	SM1	SM2	SM3	SM4
Promedio día laborable	389,59 Lux	3488,60 Lux	282,21 Lux	1537,71 Lux
Promedio día no laborable	275,73 Lux	4216,45 Lux	213,02 Lux	1530,52 Lux
Máximo día laborable	989,78 Lux	7578,53 Lux	535,29 Lux	3686,41 Lux
Mínimo día laborable	65,58 Lux	242,88 Lux	102,56 Lux	280,62 Lux
Máximo día no laborable	785,77 Lux	7755,28 Lux	432,63 Lux	3616,91 Lux
Mínimo día no laborable	0,48 Lux	6,87 Lux	0,48 Lux	2,69 Lux

Cuadro 2.16: Mediciones más representativas de los sensores en el Laboratorio de mecánica

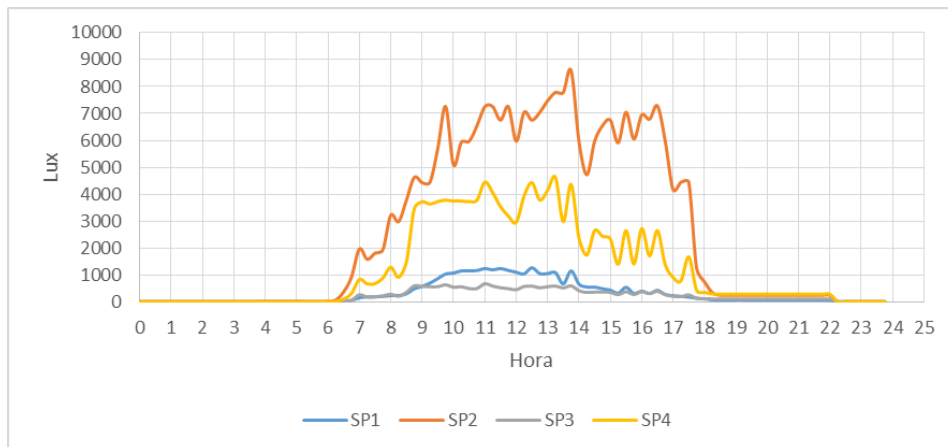


Figura 2.42: Valores promedio medidos por los sensores durante los días no laborable en el Laboratorio de mecánica

2.1.4. Mediciones de consumo eléctrico de los lugares críticos en iluminación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

Las luminarias que poseen la sala de profesores, la biblioteca y el laboratorios de eléctrica – electrónica son bulbos del tipo fluorescente marca SYLVANIA de 604 mm con un consumo de 17 vatios, las luminarias se ubican en grupos de tres mediante su correspondiente rejilla.



Figura 2.43: Información de la luminaria fluorescente utilizada en distintos ambientes



Figura 2.44: Ejemplo de los soportes de las luminarias fluorescentes

Para realizar las mediciones del consumo eléctrico de las luminarias fluorescentes, se tomó una muestra y se realizó las respectivas mediciones eléctricas, deduciendo así que el valor de potencia indicado por el fabricante es muy aproximado al valor real.

De esta manera se puede cuantificar el valor total consumido según la potencia real y el número de luminarias.

Voltaje	127	Voltios
Corriente	0.134	Amperios
Potencia	17	Vatios

Cuadro 2.17: Mediciones realizadas a una lámpara de muestra

2.1.4.1. Mediciones en la sala de profesores

Número de luminarias	72
Potencia total consumida	1224 vatios

Cuadro 2.18: Mediciones realizadas en la sala de profesores

2.1.4.2. Mediciones en la Biblioteca

Número de luminarias en la planta baja	408
Potencia total consumida en la planta baja	6936 vatios
Número de luminarias en la primera planta alta	318
Potencia total consumida en la primera planta alta	5406 vatios
Número de luminarias en la segunda planta alta	324
Potencia total consumida en la segunda planta alta	5508 vatios

Cuadro 2.19: Mediciones realizadas en la biblioteca

2.1.4.3. Laboratorios de eléctrica – electrónica

Número de luminarias	36
Potencia total consumida	612 vatios

Cuadro 2.20: Mediciones realizadas en Laboratorios de eléctrica – electrónica

2.1.4.4. Laboratorio mecánica

Número de luminarias	18
Potencia total consumida	306 vatios

Cuadro 2.21: Mediciones realizadas en el Laboratorio mecánica

2.2. Benchmarking

2.2.1. Análisis lumínico de las mediciones realizadas

Se presenta un análisis gráfico de los valores lumínicos que actualmente existen en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, comparándolos con las recomendaciones de la norma española y los valores de luz natural que pueden aportar al ahorro de energía eléctrica empleada en iluminación.

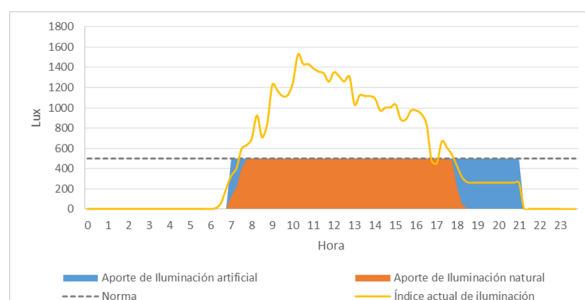


Figura 2.45: Ejemplo del análisis de los niveles de iluminación



Figura 2.46: Ejemplo del porcentajes que aportarían las fuentes de luz artificial y natural para cumplir la recomendación de la norma española

- Norma.- presenta el valor mínimo que la norma española recomienda según el ambiente de trabajo y la actividad que se desempeñe.
- Índice actual de iluminación.- muestra el valor promedio de iluminación que existe actualmente en el ambiente de trabajo.
- Aporte de iluminación natural.- es el porcentaje de iluminación artificial que podría ser substituida por iluminación natural sin disminuir el nivel de iluminación que recomienda la norma de iluminación española dentro del horario de trabajo de la universidad.
- Aporte de iluminación artificial.- es el porcentaje de iluminación artificial que obligatoriamente debe existir para cumplir el nivel de iluminación que recomienda la norma de iluminación española dentro del horario de trabajo de la universidad.

2.2.1.1. Análisis en la sala de profesores

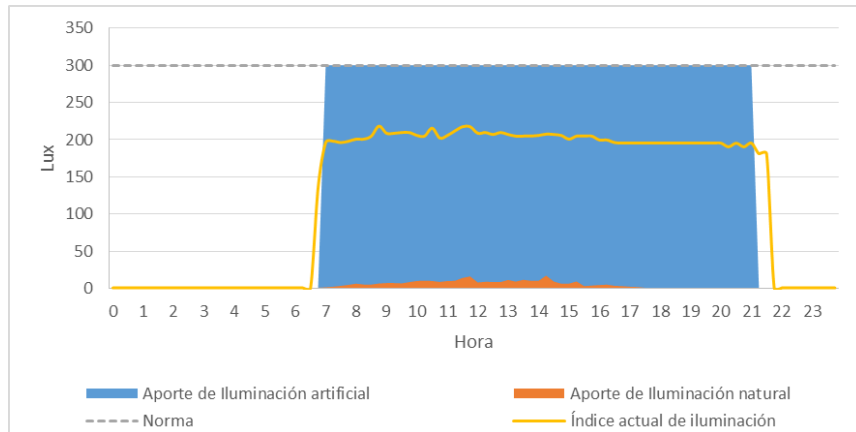


Figura 2.47: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SP1

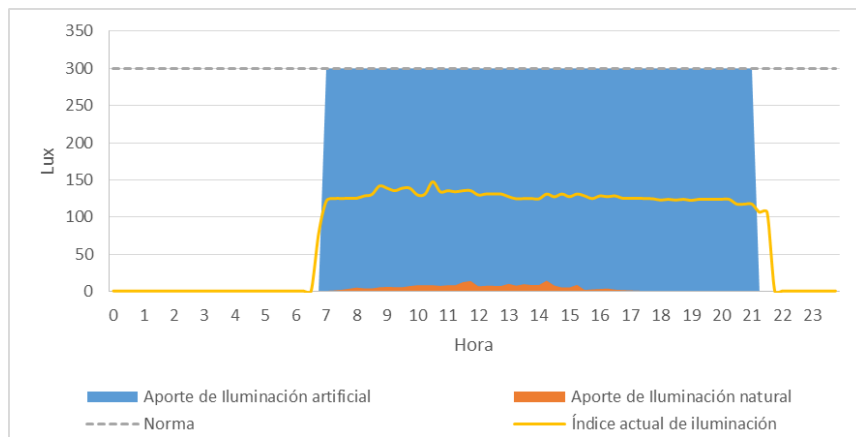


Figura 2.48: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SP2

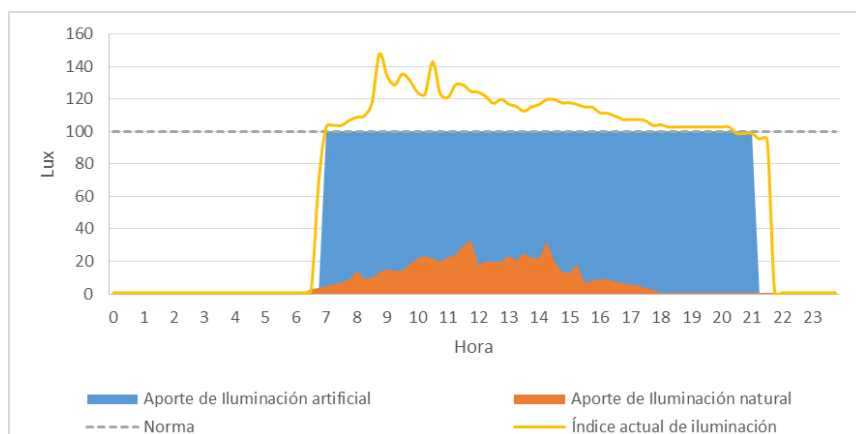


Figura 2.49: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SP3

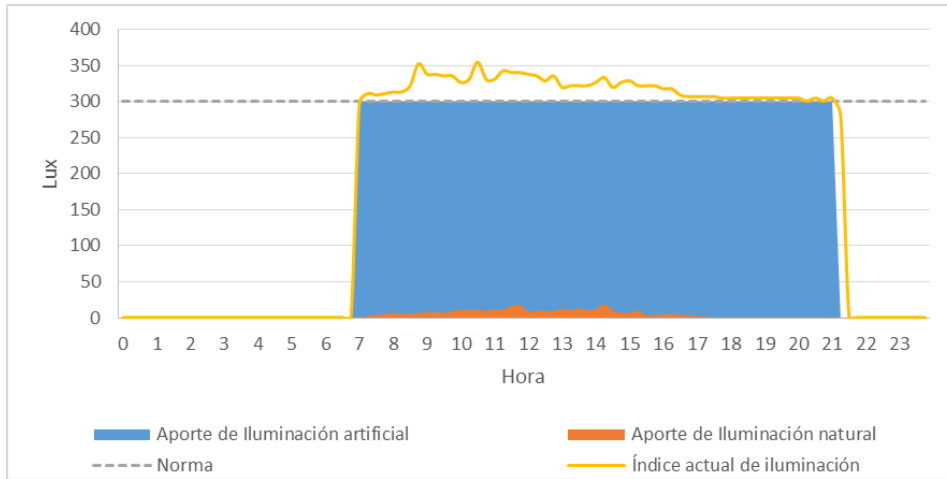


Figura 2.50: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SP4

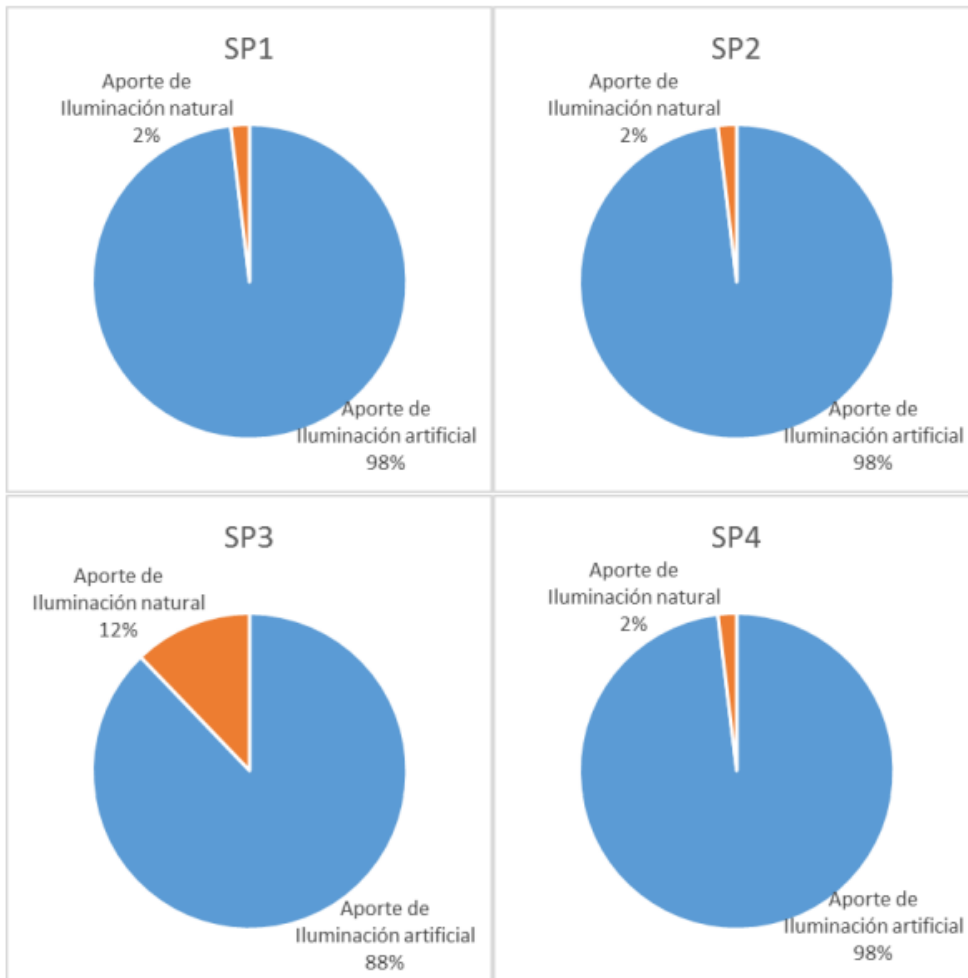


Figura 2.51: Porcentajes que aportarían las fuentes de luz artificial y natural para cumplir la recomendación de la norma

2.2.1.2. Análisis en la Biblioteca

2.2.1.2.1 Planta baja

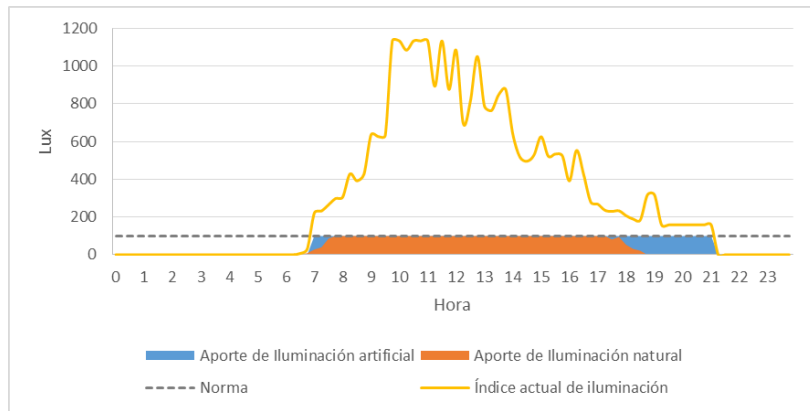


Figura 2.52: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB11

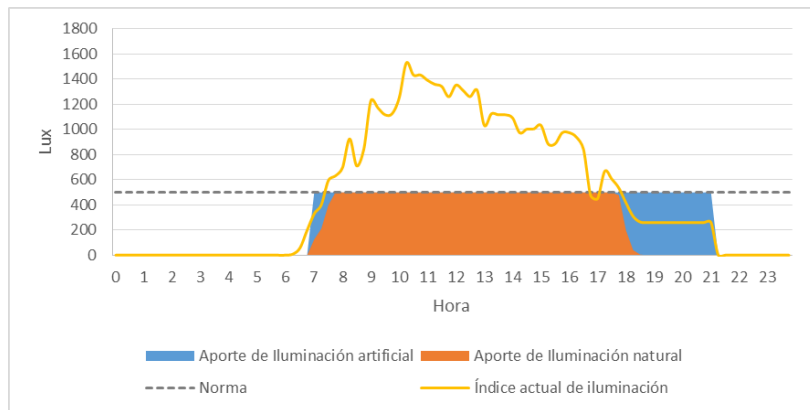


Figura 2.53: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB12

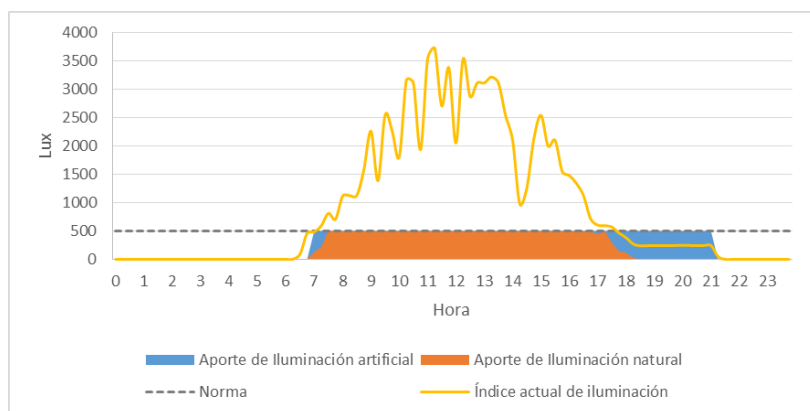


Figura 2.54: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB13

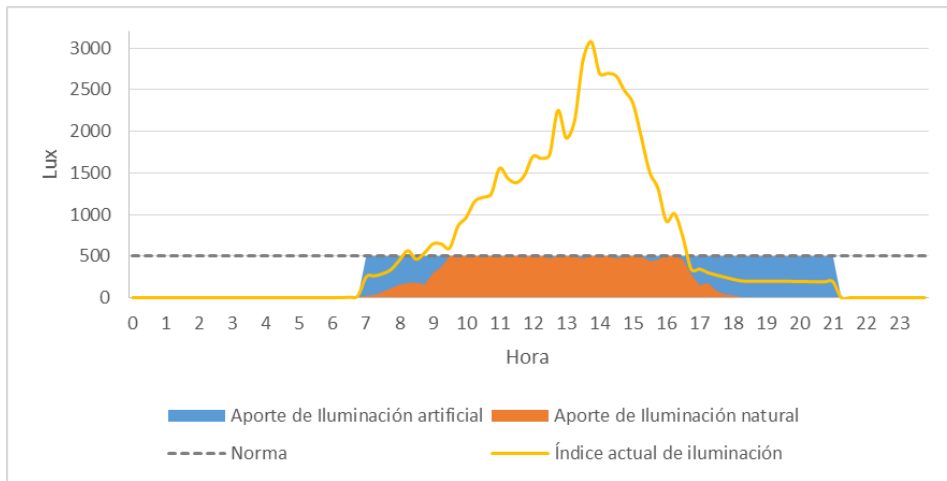


Figura 2.55: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB14

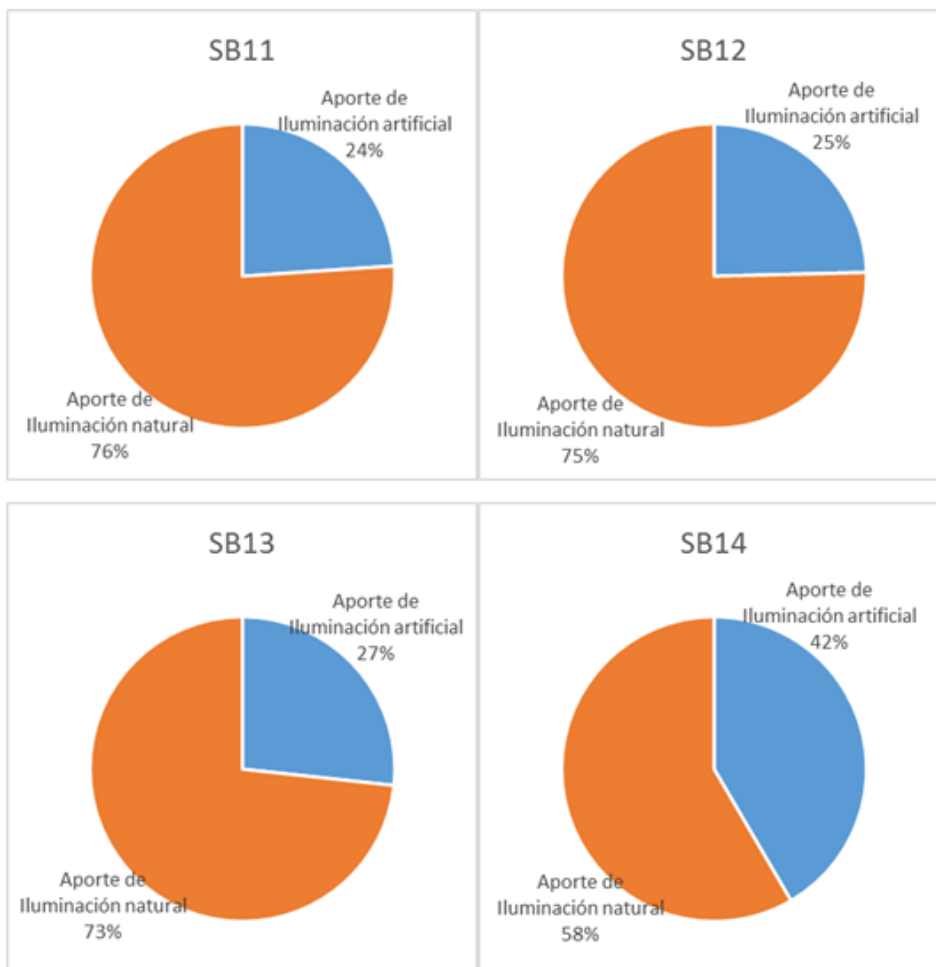


Figura 2.56: Porcentajes que aportarían las fuentes de luz artificial y natural para cumplir la recomendación de la norma

2.2.1.2.2 Primera planta alta

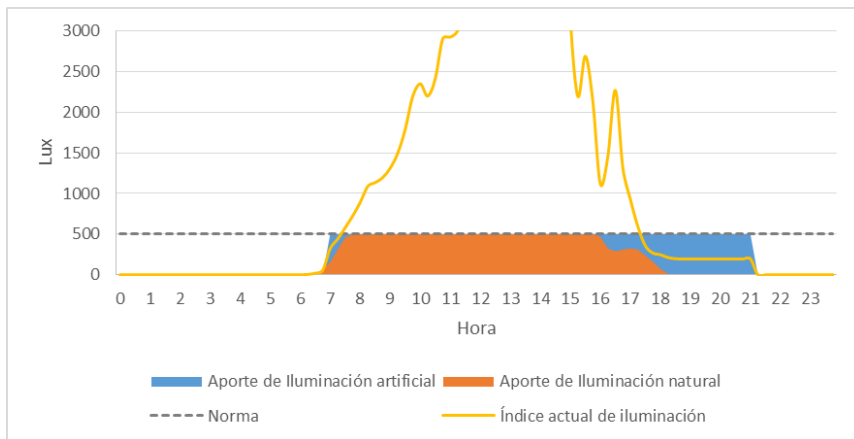


Figura 2.57: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB21

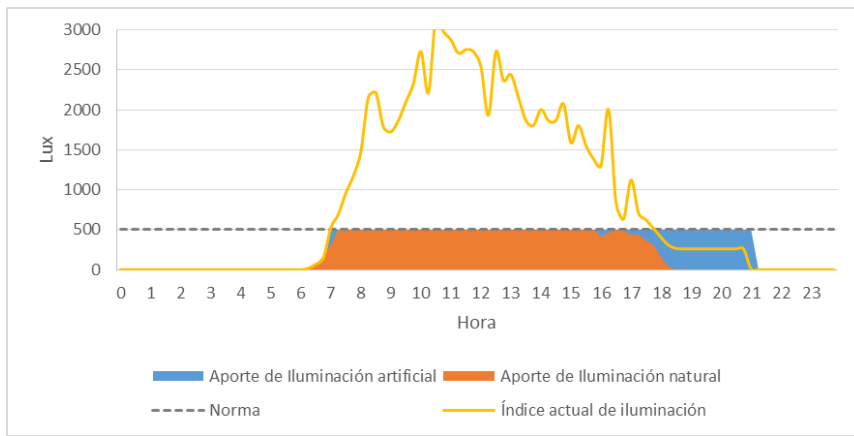


Figura 2.58: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB22

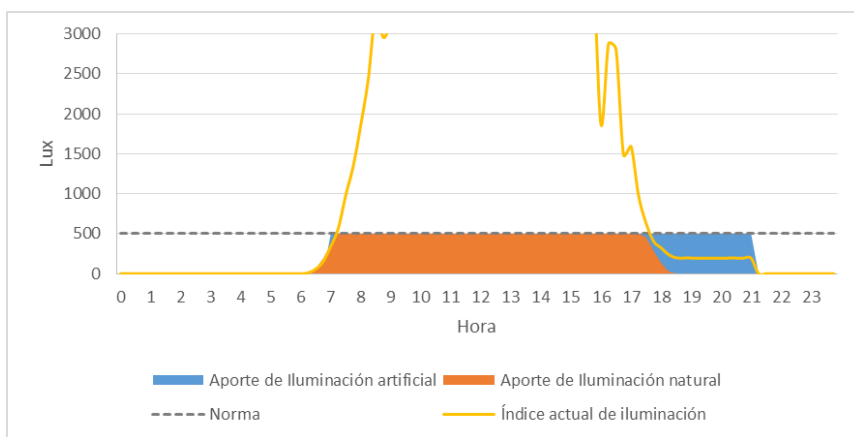


Figura 2.59: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB23

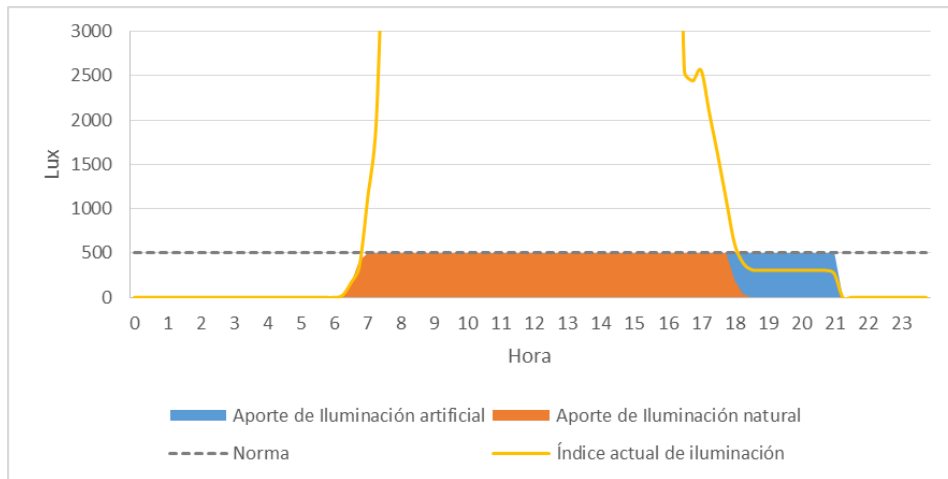


Figura 2.60: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB24



Figura 2.61: Porcentajes que aportarían las fuentes de luz artificial y natural para cumplir la recomendación de la norma

2.2.1.2.3 Segunda planta alta

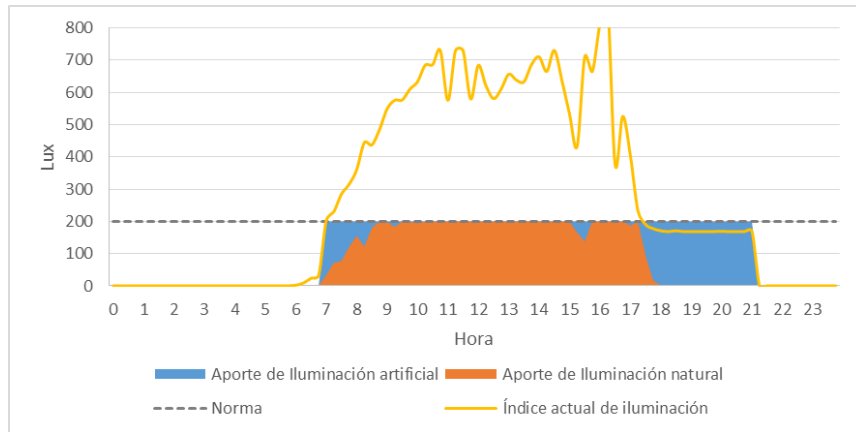


Figura 2.62: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB31

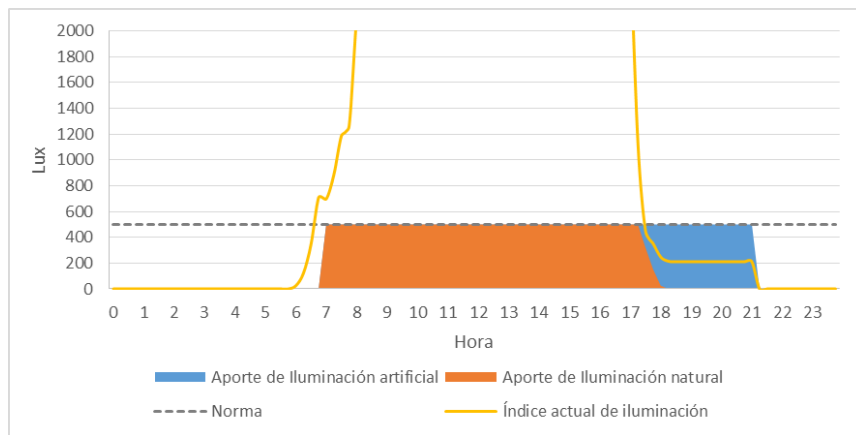


Figura 2.63: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB32

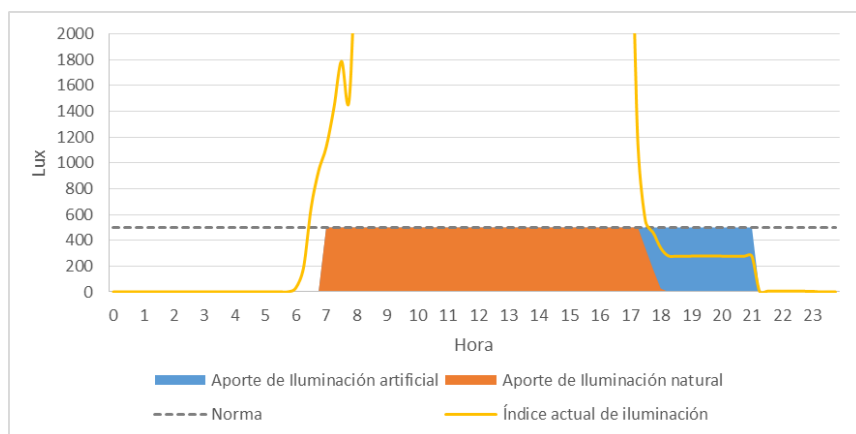


Figura 2.64: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB33

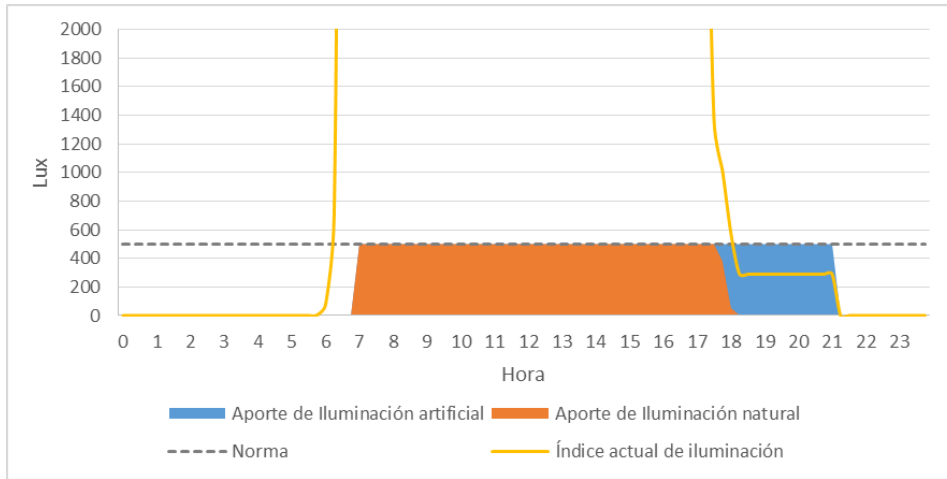


Figura 2.65: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SB34

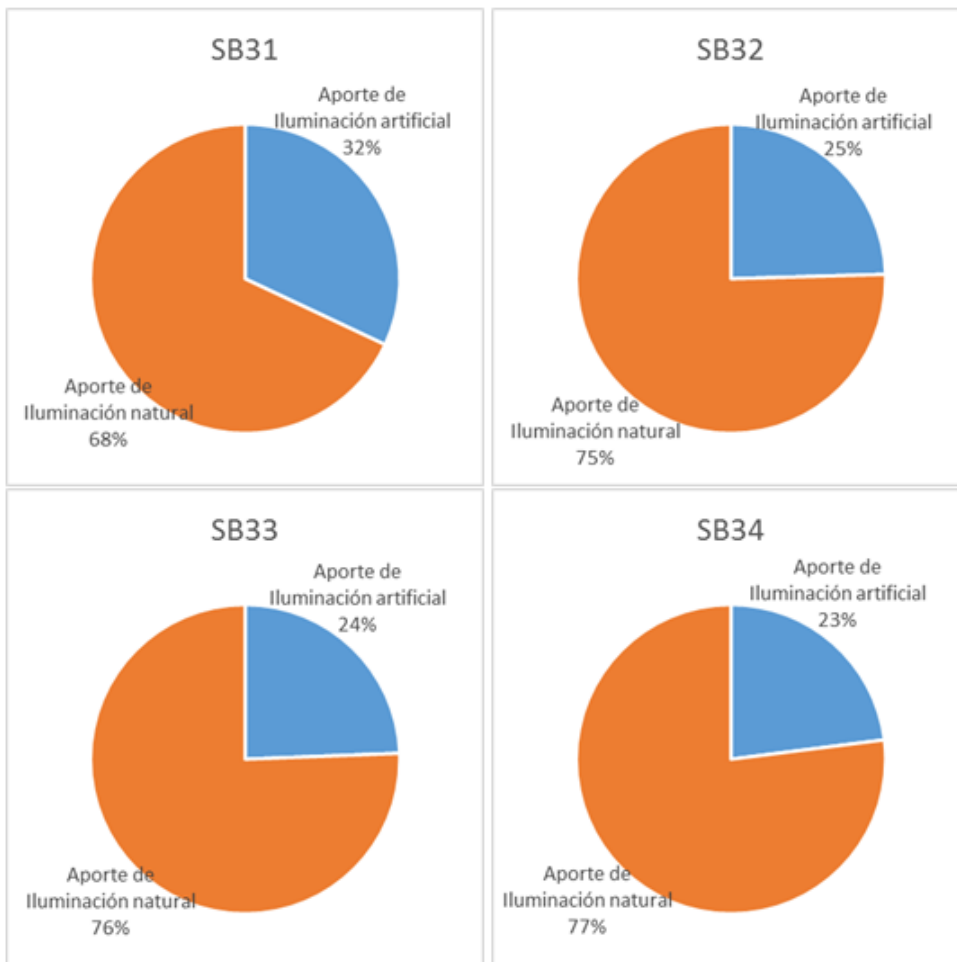


Figura 2.66: Porcentajes que aportarían las fuentes de luz artificial y natural para cumplir la recomendación de la norma

2.2.1.3. Análisis en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

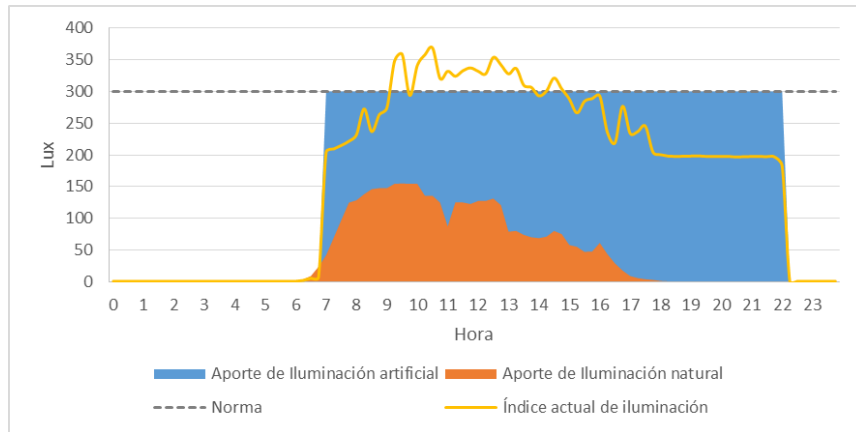


Figura 2.67: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SE1

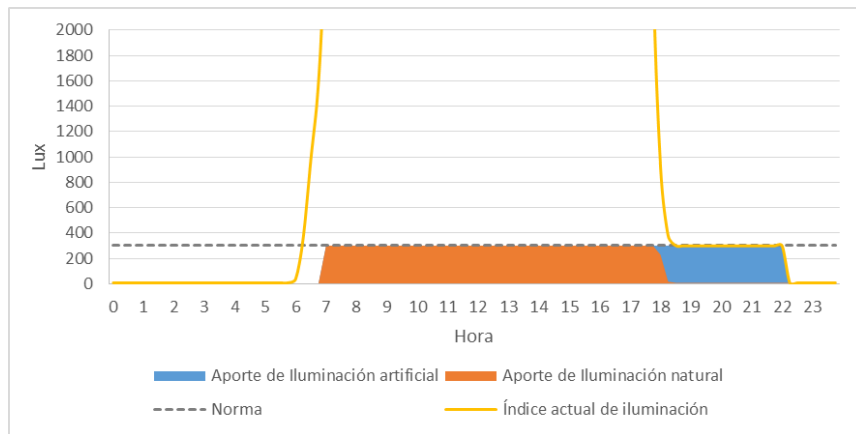


Figura 2.68: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SE2

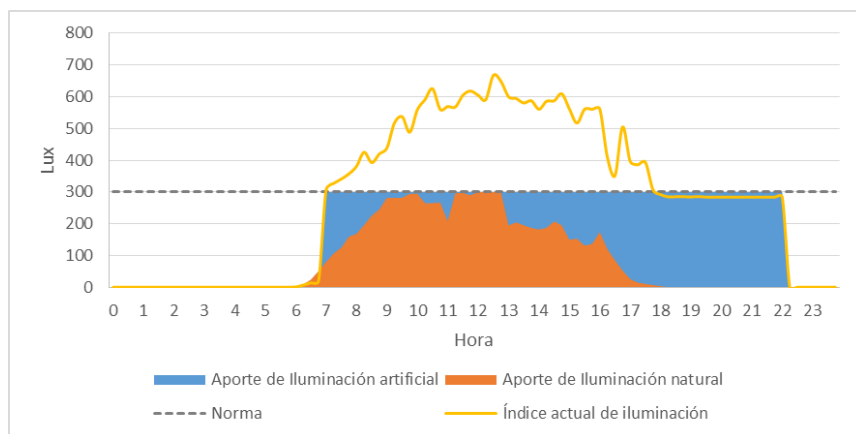


Figura 2.69: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SE3

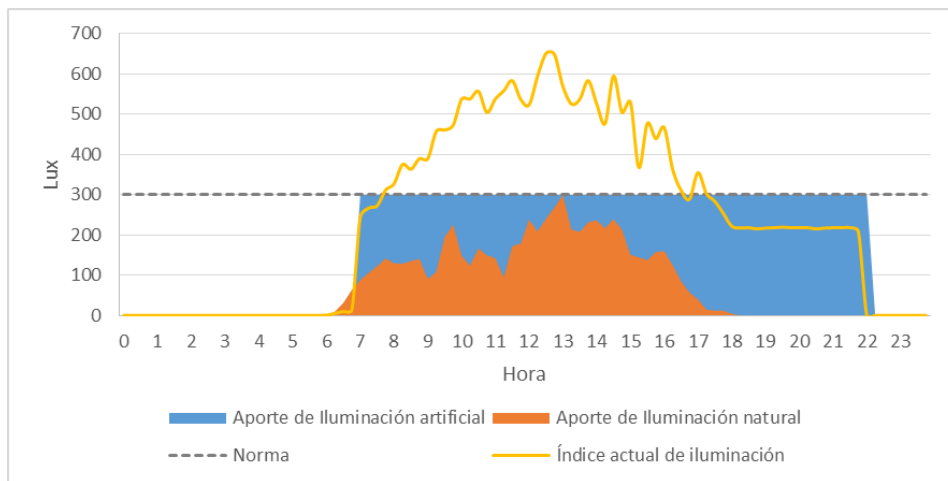


Figura 2.70: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SE4



Figura 2.71: Porcentajes que aportarían las fuentes de luz artificial y natural para cumplir la recomendación de la norma

2.2.1.4. Análisis en el Laboratorio de mecánica

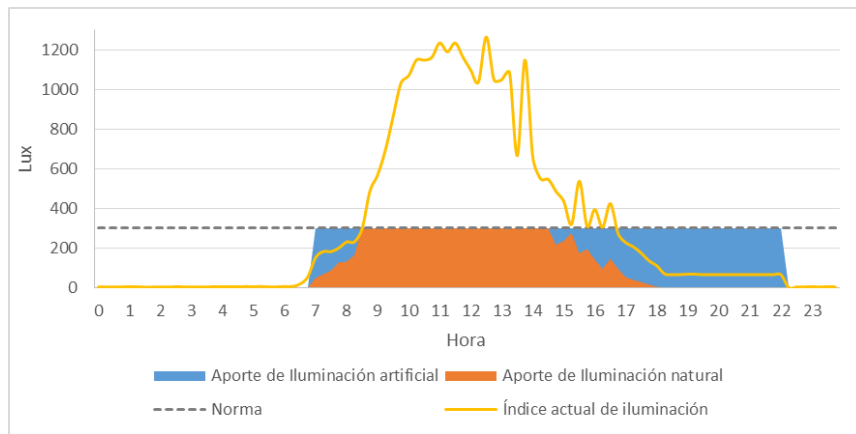


Figura 2.72: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SM1

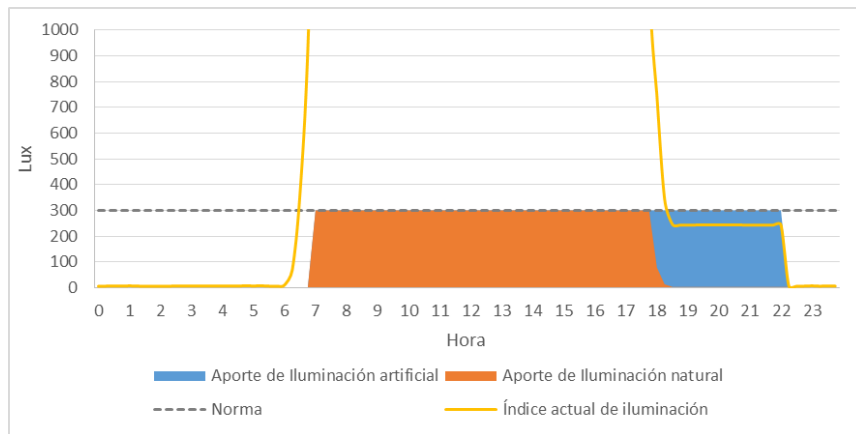


Figura 2.73: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SM2

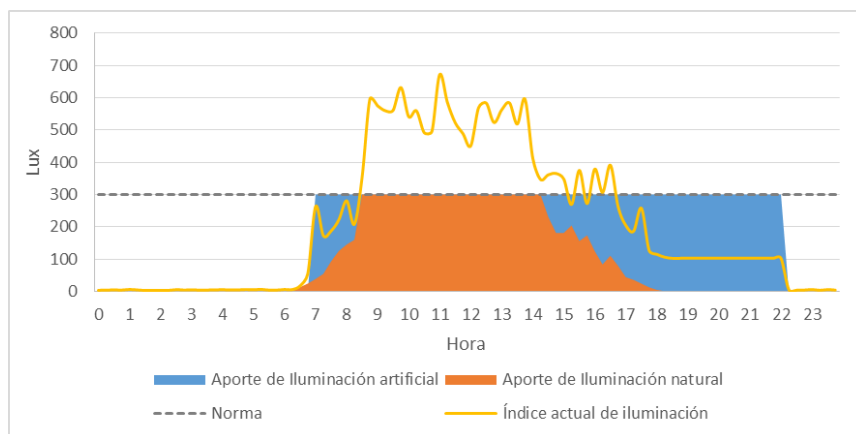


Figura 2.74: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SM3

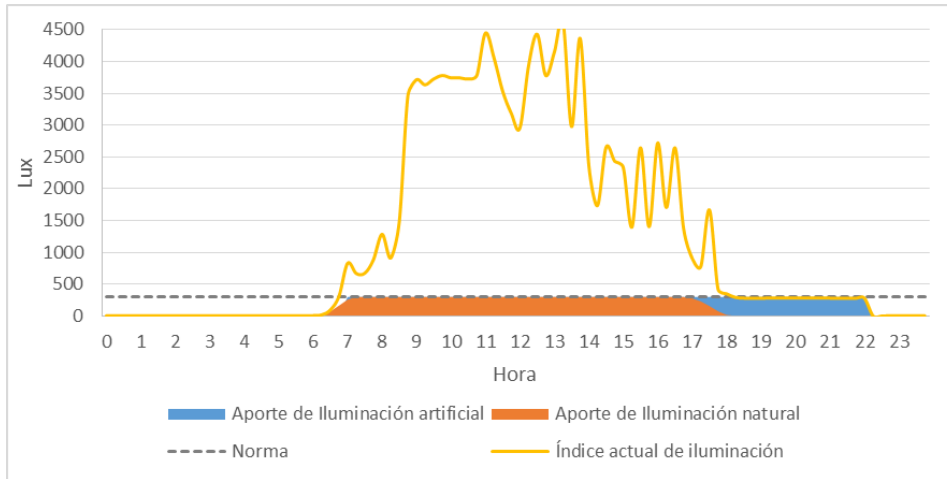


Figura 2.75: Análisis de las mediciones realizadas del sensor SM4

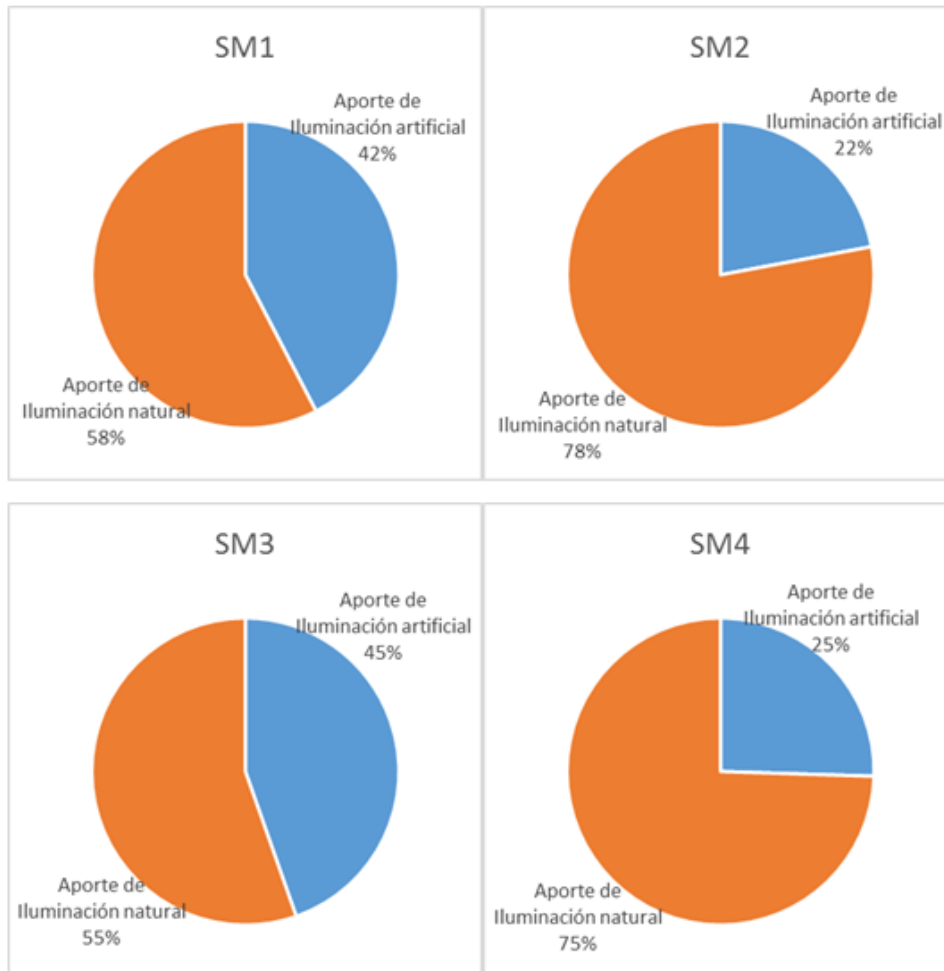


Figura 2.76: Porcentajes que aportarían las fuentes de luz artificial y natural para cumplir la recomendación de la norma

2.2.2. Comparación de los resultados obtenidos

2.2.2.1. Comparación de los resultados obtenidos respecto a distintas normas

Para realizar el análisis comparativo del nivel de iluminación medido versus los niveles que las normas de iluminación Ecuatorianas, Argentinas y Españolas recomiendan, se establecieron dos situaciones con el fin de realizar la comparación de la manera más eficaz.

Se realizó la comparación de las distintas normas versus el valor promedio de iluminación durante un día de trabajo, determinando así que de los sectores estudiados no solo cumplen el valor que las normas recomienda, sino que la superan, demostrando así la correcta iluminación que existe en la Universidad.

Se determinó que durante la noche existe el punto crítico de iluminación, (ya que no existe aporte de luz natural), debido a ello los niveles de iluminación decayeron, provocando que el porcentaje de cumplimiento de las distintas normas también disminuya, a pesar de ello los lugares estudiados no establecen inconformidad a los usuarios.

De las mediciones realizadas se puede observar, que la iluminación natural podría aportar a la iluminación del ambiente, generando así un ahorro energético y cumpliendo con las recomendaciones de las normas.

2.2.2.1.1 Comparación en la sala de profesores

PROMEDIO	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma Recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SP1	208,36	200	104,18%	300	69,45%	200	104,18%
SP2	134,25	200	67,13%	300	44,75%	200	67,13%
SP3	125,9	20	629,50%	100	125,90%	50	251,80%
SP4	333,6	200	166,80%	300	111,20%	200	166,80%
PROMEDIO		129,37%		80,21%		123,40%	

Cuadro 2.22: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación promedio que existe

NOCHE	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma Recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SP1	195,44	200	97,72%	300	65,15%	200	97,72%
SP2	117,57	200	58,79%	300	39,19%	200	58,79%
SP3	102,71	20	513,55%	100	102,71%	50	205,42%
SP4	304,68	200	152,34%	300	101,56%	200	152,34%
PROMEDIO		116,19%		72,04%		110,83%	

Cuadro 2.23: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación nocturna que existe

	Norma Española (Lux)	Iluminación artificial		Iluminación natural	
		Aporte (Lux)	Porcentaje	Aporte (lux)	Porcentaje
SP1	300	294,25	98,08%	5,74	1,92%
SP2	300	295,15	98,38%	4,85	1,62%
SP3	100	87,83	87,83%	12,17	12,17%
SP4	300	293,54	97,85%	6,46	2,15%
PROMEDIO		97,08%		2,92%	

Cuadro 2.24: Valores que se necesitarían para cumplir con el valor lumínico que la norma española recomienda

2.2.2.1.2 Comparación en la planta baja de la Biblioteca

PROMEDIO	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma Recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SP1	429,67	20	2148,35%	100	429,67%	50	859,34%
SP2	661,80	500	132,36%	500	132,36%	400	165,45%
SP3	881,38	500	176,28%	500	176,28%	400	220,35%
SP4	738,85	500	147,77%	500	147,77%	400	184,71%
PROMEDIO		178,40%		169,48%		216,94%	

Cuadro 2.25: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación promedio que existe

NOCHE	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma Recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SB11	158,6	20	793,00%	100	158,60%	50	317,20%
SB12	260,865	500	52,17%	500	52,17%	400	65,22%
SB13	243,4	500	48,68%	500	48,68%	400	60,85%
SB14	189,8775	500	37,98%	500	37,98%	400	47,47%
PROMEDIO		56,10%		53,30%		68,22%	

Cuadro 2.26: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación nocturna que existe

	Norma Española (Lux)	Iluminación artificial		Iluminación natural	
		Aporte (Lux)	Porcentaje	Aporte (lux)	Porcentaje
SB11	100	23,92	23,93%	76,07	76,07%
SB12	500	123,06	24,61%	376,93	75,39%
SB13	500	133,56	26,71%	366,43	73,29%
SB14	500	207,92	41,59%	292,07	58,41%
PROMEDIO		30,53%		69,47%	

Cuadro 2.27: Valores que se necesitarían para cumplir con el valor lumínico que la norma española recomienda

2.2.2.1.3 Comparación en la primera planta alta de la Biblioteca

PROMEDIO	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SP1	1615,71	500	323,14%	500	323,14%	400	403,93%
SP2	1231,12	500	246,22%	500	246,22%	400	307,78%
SP3	2701,19	500	540,24%	500	540,24%	400	675,30%
SP4	4991,35	500	998,27%	500	998,27%	400	1247,84%
PROMEDIO		526,97%		526,97%		658,71%	

Cuadro 2.28: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación promedio que existe

NOCHE	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SB21	195,58	500	39,12%	500	39,12%	400	48,89%
SB22	257,58	500	51,52%	500	51,52%	400	64,40%
SB23	186,72	500	37,34%	500	37,34%	400	46,68%
SB24	291,74	500	58,35%	500	58,35%	400	72,94%
PROMEDIO		46,58%		46,58%		58,23%	

Cuadro 2.29: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación nocturna que existe

	Norma Española (Lux)	Iluminación artificial		Iluminación natural	
		Aporte (Lux)	Porcentaje	Aporte (lux)	Porcentaje
SB21	500	149,82	29,96%	350,18	70,04%
SB22	500	123,62	24,72%	376,38	75,28%
SB23	500	116,97	23,39%	383,03	76,61%
SB24	500	109,612632	21,92%	390,387368	78,08%
PROMEDIO		25,00%		75,00%	

Cuadro 2.30: Valores que se necesitarían para cumplir con el valor lumínico que la norma española recomienda

2.2.2.1.4 Comparación en la segunda planta alta de la Biblioteca

PROMEDIO	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SP1	383,18	200	191,59%	200	191,59%	200	191,59%
SP2	3025,27	500	605,05%	500	605,05%	400	756,32%
SP3	2474,46	500	494,89%	500	494,89%	400	618,62%
SP4	5091,75	500	1018,35%	500	1018,35%	400	1272,94%
PROMEDIO		645,57%		645,57%		783,90%	

Cuadro 2.31: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación promedio que existe

NOCHE	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SP31	163,65	200	81,82%	200	81,82%	200	81,82%
SP32	210,72	500	42,14%	500	42,14%	400	52,68%
SP32	265,89	500	53,18%	500	53,18%	400	66,47%
SP34	283,42	500	56,68%	500	56,68%	400	70,86%
PROMEDIO		54,33%		54,33%		65,98%	

Cuadro 2.32: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación nocturna que existe

	Norma Española (Lux)	Iluminación artificial		Iluminación natural	
		Aporte (Lux)	Porcentaje	Aporte (lux)	Porcentaje
SP31	200	64,00	32,00%	136,00	68,00%
SP32	500	122,69	24,54%	377,31	75,46%
SP33	500	121,97	24,39%	378,03	75,61%
SP34	500	115,00	23,00%	385,00	77,00%
PROMEDIO		24,92%		75,08%	

Cuadro 2.33: Valores que se necesitarían para cumplir con el valor lumínico que la norma española recomienda

2.2.2.1.5 Comparación en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

PROMEDIO	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SP1	248,85	300	82,95%	300	82,95%	400	62,21%
SP2	6763,26	300	2254,42%	300	2254,42%	400	1690,82%
SP3	410,53	300	136,84%	300	136,84%	400	102,63%
SP4	331,66	300	110,55%	300	110,55%	400	82,92%
PROMEDIO		646,19%		646,19%		484,64%	

Cuadro 2.34: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación promedio que existe

NOCHE	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SE1	196,63	300	65,54%	300	65,54%	400	49,16%
SE2	298,17	300	99,39%	300	99,39%	400	74,54%
SE2	282,89	300	94,30%	300	94,30%	400	70,72%
SE4	204,44	300	68,15%	300	68,15%	400	51,11%
PROMEDIO		81,84%		81,84%		61,38%	

Cuadro 2.35: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación nocturna que existe

	Norma Española (Lux)	Iluminación artificial		Iluminación natural	
		Aporte (Lux)	Porcentaje	Aporte (lux)	Porcentaje
SE1	300	234,21	78,07%	65,79	21,93%
SE2	300	77,79	25,93%	222,21	74,07%
SE3	300	161,26	53,75%	138,74	46,25%
SE4	300	182,11	60,70%	117,89	39,30%
PROMEDIO		54,62%		45,38%	

Cuadro 2.36: Valores que se necesitarían para cumplir con el valor lumínico que la norma española recomienda

2.2.2.1.6 Comparación en el Laboratorio de mecánica

PROMEDIO	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SP1	389,59	300	129,86%	300	129,86%	400	97,40%
SP2	3488,60	300	1162,87%	300	1162,87%	400	872,15%
SP3	282,21	300	94,07%	300	94,07%	400	70,55%
SP4	1537,71	300	512,57%	300	512,57%	400	384,43%
PROMEDIO		474,84%		474,84%		356,13%	

Cuadro 2.37: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación promedio que existe

NOCHE	Valor medido (Lux)	Valor que la Norma recomienda (Lux)					
		Norma Ecuatoriana	Porcentaje de cumplimiento	Norma Española	Porcentaje de cumplimiento	Norma Argentina	Porcentaje de cumplimiento
SM1	65,63	300	21,88%	300	21,88%	400	16,41%
SM2	243,03	300	81,01%	300	81,01%	400	60,76%
SM2	102,62	300	34,21%	300	34,21%	400	25,66%
SM4	280,62	300	93,54%	300	93,54%	400	70,15%
PROMEDIO		57,66%		57,66%		43,24%	

Cuadro 2.38: Porcentaje de cumplimiento de las normas con respecto a la iluminación nocturna que existe

	Norma Española (Lux)	Iluminación artificial		Iluminación natural	
		Aporte (Lux)	Porcentaje	Aporte (lux)	Porcentaje
SM1	300	127,16	42,39%	172,84	57,61%
SM2	300	66,192193	22,06%	233,81	77,94%
SM3	300	133,876667	44,63%	166,12	55,37%
SM4	300	76,4996491	25,50%	223,500351	74,50%
PROMEDIO		33,64%		66,36%	

Cuadro 2.39: Valores que se necesitarían para cumplir con el valor lumínico que la norma española recomienda

2.2.2.2. Comparación de los resultados obtenidos con respecto a otras Universidades

Para realizar la comparación de los niveles de iluminación de la universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, con otras universidades se utilizaron como base dos estudios referidos a la eficiencia energética en iluminación:

El primero realizado, por la Universidad Nacional Autónoma de México titulado “Análisis y modelación del consumo de energía eléctrica en edificios universitarios

con base a usos finales y parámetros arquitectónicos: Caso UNAM-CU” en donde se realizaron estudios similares al de este proyecto en las áreas mas representativas.

El segundo estudio realizado en Ecuador por la Escuela Politécnica Nacional titulado “Análisis comparativo, técnico – económico entre un sistema de iluminación convencional y uno utilizando tecnología de leds, aplicado en un edificio educacional” en donde se realizó el estudio sobre un edificio en específico.

2.2.2.2.1 Definición de los parámetros para la comparación

Con el fin de efectuar una correcta comparación de la eficiencia lumínica entre universidades nacionales e internacionales, se utilizaran los siguientes parámetros.

- Cumplimiento de la norma.- Debido a que en cada país los parámetros referenciales de los niveles de iluminación varían, se expresó el porcentaje de cumplimiento de la norma de cada universidad con respecto a su país.
- Eficiencia luminosa.- Expresa los luxes generados a partir de un vatio, mientras más alto sea en valor de este índice existirá una mayor eficiencia energética.
- Potencia por persona.- Expresa la cantidad de vatios por cada persona para garantizar el nivel de iluminación actual, mientras más pequeño sea en valor de este índice existirá una mayor eficiencia energética.
- Potencia por área.- Expresa la cantidad de vatios por metro cuadrado para garantizar el nivel de iluminación actual, mientras más pequeño sea en valor de este índice existirá una mayor eficiencia energética.

2.2.2.2.2 Definición de los parámetros para la comparación

- Comparación de la norma ecuatoriana y mexicana

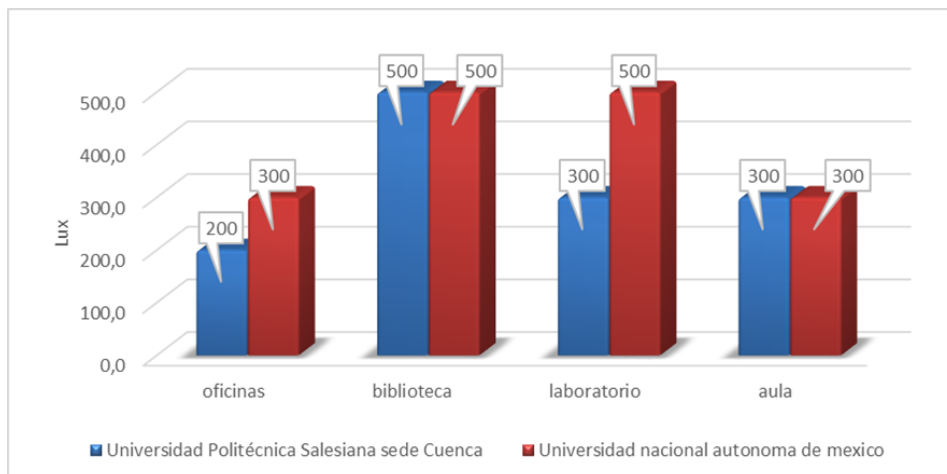


Figura 2.77: Comparación entre las normas de iluminación ecuatoriana y mexicana

■ Cumplimiento de la Norma

La Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca presenta áreas con niveles de iluminación que no solo igualan sino superan el cumplimiento de la normativa de las otras universidades, logrando así bajo este parámetro ser superior en calidad lumínica.

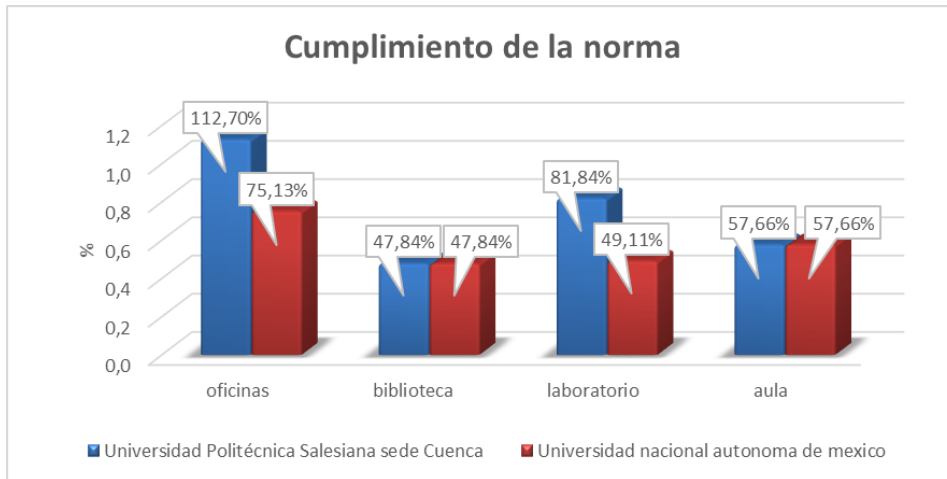


Figura 2.78: Porcentaje de cumplimiento del nivel de iluminación con respecto a la norma de cada nación

■ Eficiencia luminosa

Bajo este parámetro podemos observar que la UPS-Cuenca, tiene un índice superior este parámetro, ya que en todos los lugares comparados existe una gran diferencia en cuanto a los luxes generados a partir de cada vatio.

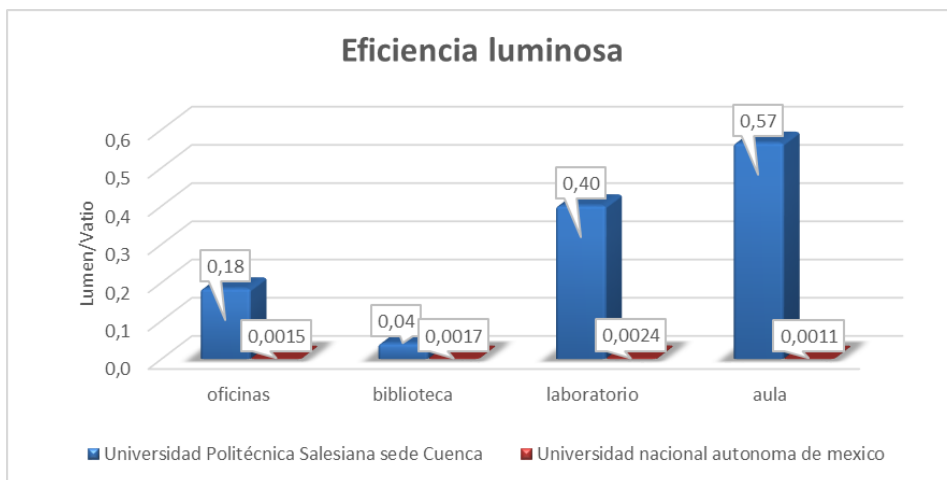


Figura 2.79: Parámetro de eficiencia luminosa

■ Potencia por persona

Este marcador en general muestra a nuestra universidad y a La Universidad Autónoma de México equilibradas, ya que existen áreas como las oficinas con el mismo rendimiento energético. A pesar de ello en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, los laboratorios y las aulas presentan un mayor nivel de iluminación, ya que se utiliza una menor cantidad de potencia por persona; lo contrario ocurre en la biblioteca, la cual tiene una mayor cantidad de potencia por persona.

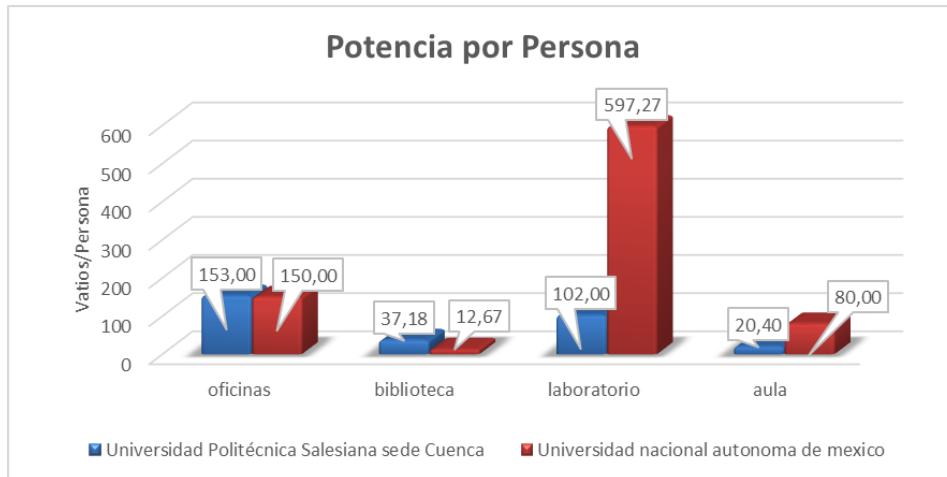


Figura 2.80: Parámetro de potencia por persona

El índice de medida del laboratorio es alto debido a que en la Universidad nacional autónoma de México, las personas necesitan una mayor área de trabajo ya que es una comparación con el laboratorio de química.

- Potencia por área

Este marcador revela que la potencia por metro cuadrado en todos los ambientes de nuestra universidad es menor el que tiene la Universidad Autónoma de México.

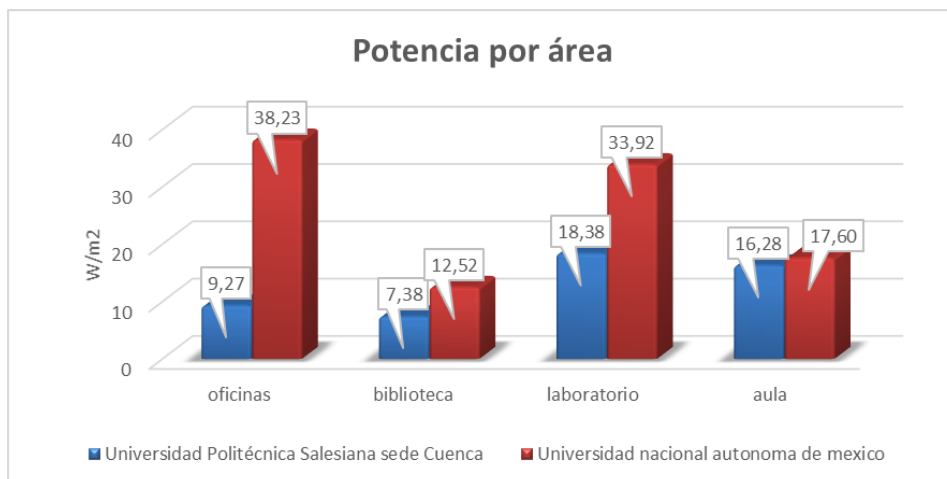


Figura 2.81: Parámetro de potencia por metro cuadrado

De las gráficas y el análisis de todos los parámetros se puede llegar a la conclusión de que la calidad lumínica y la eficiencia energética de nuestra universidad es mejor que la Universidad Autónoma de México.

A continuación se presenta recomendaciones a partir de los parámetros menos favorables para cada universidad.

- Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.- Presenta un bajo rendimiento en cuanto a la potencia por persona, esto se podría mejorar realizando un estudio del número de personas óptimo que cada ambiente puede acoger; además presenta una mayor potencia en horas críticas, lo cual se podría mejorar con una nueva disposición de las luminarias.
- Universidad Autónoma de México.- La principal recomendación es realizar un análisis acerca de la calidad de iluminación que poseen, ya que existen niveles de iluminación bajos a comparación de la potencia que utilizan.

2.2.3. Análisis de la eficiencia energética

A continuación se presentan los principales parámetros eléctricos y lumínicos de todos los ambientes estudiados, derivados a partir de las mediciones físicas, eléctricas y lumínicas realizadas en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Se desarrolla el análisis del consumo eléctrico de las luminarias fluorescentes actuales versus el cambio a luminarias led y dimerización inteligente, mostrando así el ahorro eléctrico y económico que se podrá obtener al realizar los cambios. El costo del kWh se determino a partir del valor de la factura por energía eléctrica de la Universidad de los últimos 4 meses, ya que el costo real se obtiene a partir del costo de la energía eléctrica más otros rubros que se descargan en la factura. Deduciendo así el valor real promedio del kWh en 0,1492 dólares.

2.2.3.1. Precio del kilovatio-hora

A continuación se determina el precio promedio del kilovatio-hora mensual que paga la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca a partir de las facturas emitidas por la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A. de los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, del año 2014.

Año - Mes	VARIABLE	Ran Des	FEC. LEC. ANTERIOR	LEC. ANTERIOR	FEC. LEC. ACTUAL	LEC. ACTUAL	CONSUMO (KWH)
2014-Jul.	ACTIVA	N7/18 (L)	15/06/2014	97552	15/07/2014	108232	10893
2014-Jul.	DEMANDA	N18/22(LV)	0-00-00	0	15/07/2014	63	64
2014-Jul.	ACTIVA	N22/7 LVy	15/06/2014	16590	15/07/2014	18294	1738
2014-Jul.	ACTIVA	N18/22(LV)	15/06/2014	31125	15/07/2014	34564	3507
2014-Jul.	REACTIVA	NORMAL	15/06/2014	1859	15/07/2014	2093	238
2014-Jul.	DEMANDA	NO PICO	0-00-00	0	15/07/2014	64	65
2014-Ago.	ACTIVA	N7/18 (L)	15/07/2014	108232	15/08/2014	119919	11920
2014-Ago.	ACTIVA	N22/7 LVy	15/07/2014	18294	15/08/2014	19873	1610
2014-Ago.	ACTIVA	N18/22(LV)	15/07/2014	34564	15/08/2014	38249	3758
2014-Ago.	REACTIVA	NORMAL	15/07/2014	2093	15/08/2014	2393	306
2014-Ago.	DEMANDA	NO PICO	0-00-00	0	15/08/2014	58	59
2014-Ago.	DEMANDA	N18/22(LV)	0-00-00	0	15/08/2014	61	62
2014-Sep.	ACTIVA	N22/7 LVy	15/08/2014	19873	15/09/2014	21431	1589
2014-Sep.	DEMANDA	N18/22(LV)	0-00-00	0	15/09/2014	57	58
2014-Sep.	DEMANDA	NO PICO	0-00-00	0	15/09/2014	60	61
2014-Sep.	REACTIVA	NORMAL	15/08/2014	2393	15/09/2014	2706	319
2014-Sep.	ACTIVA	N18/22(LV)	15/08/2014	38249	15/09/2014	39840	1622
2014-Sep.	ACTIVA	N7/18 (L)	15/08/2014	119919	15/09/2014	126676	6892
2014-Oct.	ACTIVA	N18/22(LV)	15/09/2014	39840	15/10/2014	40978	1160
2014-Oct.	DEMANDA	NO PICO	0-00-00	0	15/10/2014	50	51
2014-Oct.	REACTIVA	NORMAL	15/09/2014	2706	15/10/2014	2834	130
2014-Oct.	ACTIVA	N7/18 (L)	15/09/2014	126676	15/10/2014	133525	6985
2014-Oct.	ACTIVA	N22/7 LVy	15/09/2014	21431	15/10/2014	22785	1381
2014-Oct.	DEMANDA	N18/22(LV)	0-00-00	0	15/10/2014	33	33

Figura 2.82: Consumo de potencia mensual de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A.)

JULIO			
RUBRO	FACTURADO	PAGADO	A PAGAR
CONTRIBUCION BOMBEROS 3109-A	5,1	5,1	0
CARGO POR COMERCIALIZACION	1,41	1,41	0
CARGO POR DEMANDA	292,86	292,86	0
CARGO POR ENERGIA	1279,37	1279,37	0
TASA DE RECOLECCION DE BASURA CUENCA	649,28	649,28	0
SERVICIO ALUMBRADO PUBLICO GENERAL	232,7	232,7	0
TOTAL:	2460,72	2460,72	0
AGOSTO			
RUBRO	FACTURADO	PAGADO	A PAGAR
CONTRIBUCION BOMBEROS 3109-A	5,1	5,1	0
CARGO POR COMERCIALIZACION	1,41	1,41	0
CARGO POR DEMANDA	283,71	283,71	0
CARGO POR ENERGIA	1374,57	1374,57	0
TASA DE RECOLECCION DE BASURA CUENCA	694,39	694,39	0
SERVICIO ALUMBRADO PUBLICO GENERAL	244,27	244,27	0
TOTAL:	2603,45	2603,45	0
SEPTIEMBRE			
RUBRO	FACTURADO	PAGADO	A PAGAR
CONTRIBUCION BOMBEROS 3109-A	5,1	5,1	0
CARGO POR COMERCIALIZACION	1,41	1,41	0
CARGO POR DEMANDA	265,41	265,41	0
CARGO POR ENERGIA	792,92	792,92	0
TASA DE RECOLECCION DE BASURA CUENCA	406,91	406,91	0
SERVICIO ALUMBRADO PUBLICO GENERAL	159,85	159,85	0
TOTAL:	1631,6	1631,6	0
OCTUBRE			
RUBRO	FACTURADO	PAGADO	A PAGAR
CONTRIBUCION BOMBEROS 3109-A	5,1	5,1	0
CARGO POR COMERCIALIZACION	1,41	1,41	0
CARGO POR DEMANDA	151,01	151,01	0
CARGO POR ENERGIA	749,52	749,52	0
TASA DE RECOLECCION DE BASURA CUENCA	383,81	383,81	0
SERVICIO ALUMBRADO PUBLICO GENERAL	132,63	132,63	0
TOTAL:	1423,48	1423,48	0

Figura 2.83: Costo mensual por consumo de energía eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A.)

	costo	potencia activa	precio kWh
julio	\$ 2.460,72	16505	0,149089367
agosto	\$ 2.603,45	17715	0,146963026
septiembre	\$ 1.631,60	10541	0,154786073
octubre	\$ 1.423,48	9740	0,146147844
Precio Promedio kWh			0,149246577

Figura 2.84: Precio Promedio kWh de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

A partir de la potencia Activa consumida y la facturas emitidas por la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A. en donde se incluyen los costos de energía, demanda y comercialización además de la contribución a los bomberos, recolección de basura y servicio de alumbrado público.

Se determina el costo promedio del kilovatio-hora total el cual es de \$0,149246577 Dólares

2.2.3.2. Análisis en la sala de profesores

Número de luminarias	72
Número de personas promedio	8
Área	132 m ²
Nivel de iluminación promedio	225,4 Lux
Ahorro con luz natural	3%

Cuadro 2.40: Parámetros de la sala de profesores

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia consumida	1224	792	768,87	Vatio
Potencia por Persona	153,00	99,00	96,11	Vatios/Persona
Potencia por área	9,27	6,00	5,82	W/m ²
Eficiencia luminosa	0,18	0,28	0,29	Lumen/Vatio

Cuadro 2.41: Índices principales de eficiencia en la sala de profesores

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia en una hora	1,22	0,79	0,77	kWh
Potencia en un día	17,14	11,09	10,76	kWh
Potencia en un mes	376,99	243,94	236,81	kWh
Costo mensual	56,25	36,40	35,33	dólares
Costo anual	642,82	415,95	403,80	dólares

Cuadro 2.42: Estimado del consumo eléctrico y económico de la sala de profesores

2.2.3.3. Análisis en la planta baja de la Biblioteca

Número de luminarias	408
Número de personas	213
Área	1026 m ²
Nivel de iluminación promedio	231,37 Lux
Ahorro con luz natural	69%

Cuadro 2.43: Parámetros de la planta baja

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia consumida	6936	4488	1370	Vatio
Potencia por Persona	32,56	21,07	6,43	Vatios/Persona
Potencia por área	6,76	4,37	1,34	W/m ²
Eficiencia luminosa	0,03	0,05	0,17	Lumen/Vatio

Cuadro 2.44: Índices principales de eficiencia en la planta baja

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia en una hora	6,94	4,49	1,37	kWh
Potencia en un día	97,10	62,83	19,18	kWh
Potencia en un mes	2136,29	1382,30	422,02	kWh
Costo mensual	318,73	206,24	62,96	dólares
Costo anual	3642,68	2357,03	719,6	dólares

Cuadro 2.45: Estimado del consumo eléctrico y económico en la planta baja

2.2.3.4. Análisis en la primera planta alta de la Biblioteca

Número de luminarias	318
Número de personas	174
Área	710 m ²
Nivel de iluminación promedio	232,9 Lux
Ahorro con luz natural	75%

Cuadro 2.46: Parámetros de la primera planta alta

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia consumida	5406	3498	874,5	Vatio
Potencia por Persona	31,07	20,10	5,03	Vatios/Persona
Potencia por área	7,61	4,93	1,23	W/m ²
Eficiencia luminosa	0,04	0,07	0,27	Lumen/Vatio

Cuadro 2.47: Índices principales de eficiencia en la primera planta alta

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia en una hora	5,41	3,50	0,87	kWh
Potencia en un día	75,68	48,97	12,24	kWh
Potencia en un mes	1665,05	1077,38	269,35	kWh
Costo mensual	248,43	160,75	40,19	dólares
Costo anual	2839,14	1837,09	459,3	dólares

Cuadro 2.48: Estimado del consumo eléctrico y económico de la primera planta alta

2.2.3.5. Análisis en la segunda planta alta de la Biblioteca

Número de luminarias	324
Número de personas	115
Área	710 m ²
Nivel de iluminación promedio	253,34 Lux
Ahorro con luz natural	75%

Cuadro 2.49: Parámetros de la segunda planta alta

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia consumida	5508	3564	888,1	Vatio
Potencia por Persona	47,90	30,99	7,72	Vatios/Persona
Potencia por área	7,76	5,02	1,25	W/m2
Eficiencia luminosa	0,05	0,07	0,29	Lumen/Vatio

Cuadro 2.50: Índices principales de eficiencia en la segunda planta alta

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia en una hora	5,51	3,56	0,89	kWh
Potencia en un día	77,11	49,90	12,43	kWh
Potencia en un mes	1696,46	1097,71	273,55	kWh
Costo mensual	253,11	163,78	40,81	dólares
Costo anual	2892,71	1871,75	466,4	dólares

Cuadro 2.51: Estimado del consumo eléctrico y económico de la segunda planta alta

2.2.3.6. Análisis en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

Número de luminarias	36
Número de personas	6
Área	33,3 m2
Nivel de iluminación promedio	245,53 Lux
Ahorro con luz natural	45%

Cuadro 2.52: Parámetros del Laboratorio de eléctrica – electrónica

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia consumida	612	396	216,3	Vatio
Potencia por Persona	102,00	66,00	36,05	Vatios/Persona
Potencia por área	18,38	11,89	6,50	W/m2
Eficiencia luminosa	0,40	0,62	1,14	Lumen/Vatio

Cuadro 2.53: Índices principales de eficiencia en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia en una hora	0,61	0,40	0,22	kWh
Potencia en un día	8,57	5,54	3,03	kWh
Potencia en un mes	188,50	121,97	66,62	kWh
Costo mensual	28,12	18,20	9,94	dólares
Costo anual	321,41	207,97	113,6	dólares

Cuadro 2.54: Estimado del consumo eléctrico y económico en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

2.2.3.7. Análisis en el Laboratorio de mecánica

Número de luminarias	18
Número de personas	15
Área	18,8 m ²
Nivel de iluminación promedio	172,97 Lux
Ahorro con luz natural	66%

Cuadro 2.55: Parámetros del Laboratorio de mecánica

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia consumida	306	198	66,61	Vatio
Potencia por Persona	20,40	13,20	4,44	Vatios/Persona
Potencia por área	16,28	10,53	3,54	W/m ²
Eficiencia luminosa	0,57	0,87	2,60	Lumen/Vatio

Cuadro 2.56: Índices principales de eficiencia en el Laboratorio de mecánica

	Iluminación Actual	Iluminación LED	Iluminación LED Y Dimerización	Unidad
Potencia en una hora	0,31	0,20	0,07	kWh
Potencia en un día	4,28	2,77	0,93	kWh
Potencia en un mes	94,25	60,98	20,52	kWh
Costo mensual	14,06	9,10	3,06	dólares
Costo anual	160,70	103,98	34,98	dólares

Cuadro 2.57: Estimado del consumo eléctrico y económico del Laboratorio de mecánica

2.2.4. Benchmarking interno

A continuación se presenta una comparación entre los distintos ambientes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

- Cumplimiento de la norma ecuatoriana

Los ambientes según las mediciones promedio superan el cumplimiento de la norma de iluminación ecuatoriana, sin embargo las mediciones realizadas durante la noche, muestran un déficit lumínico en algunos ambientes.

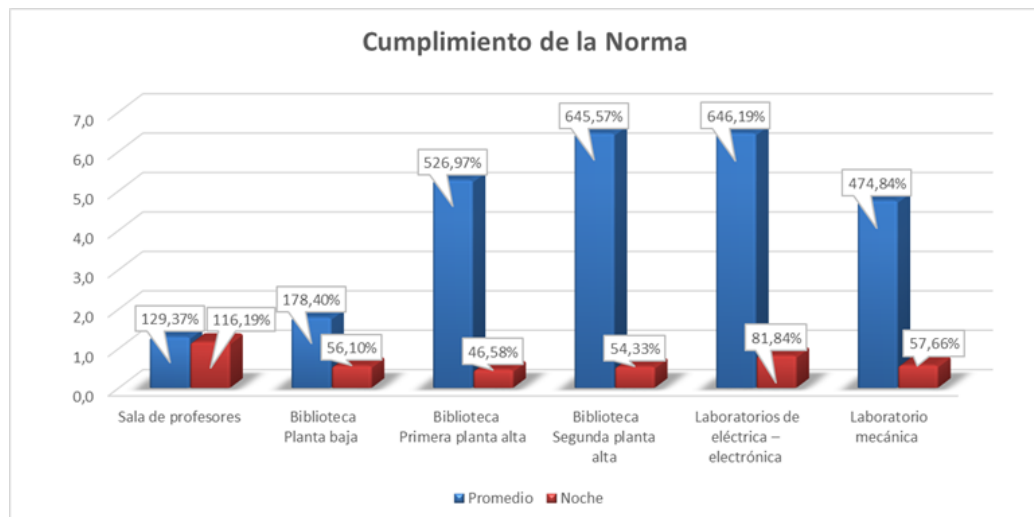


Figura 2.85: Cumplimiento de la normativa ecuatoriana en los distintos ambientes

- Eficiencia luminosa

La gráfica nos permite visualizar el resultado de la reducción del consumo de potencia y su incidencia directa sobre este parámetro, ya que este se eleva, demostrándonos el mejoramiento de la eficiencia energética.

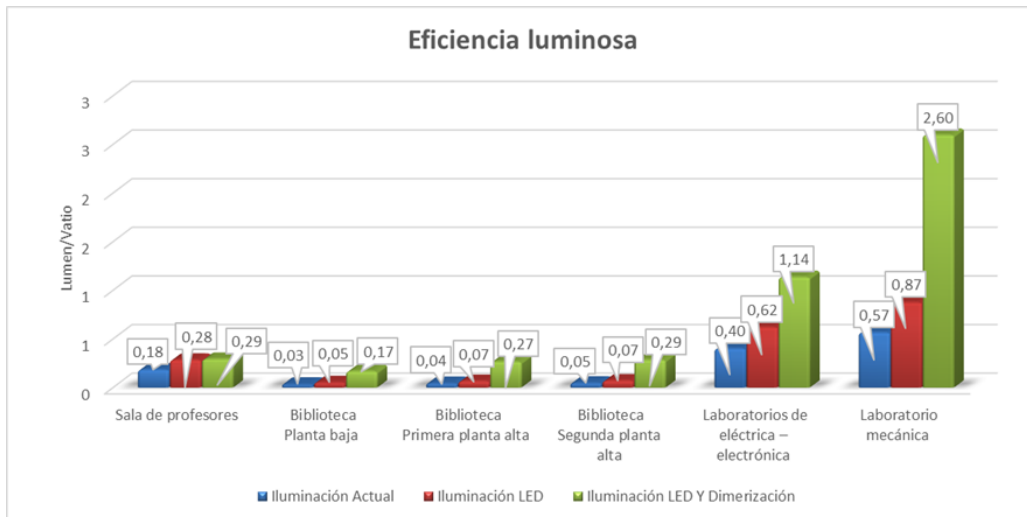


Figura 2.86: Análisis de la eficiencia luminosa dentro de los ambientes de nuestra universidad

- Potencia por persona

Este parámetro nos permite visualizar la reducción de la potencia necesaria por persona sin alterar el nivel de iluminación existente.

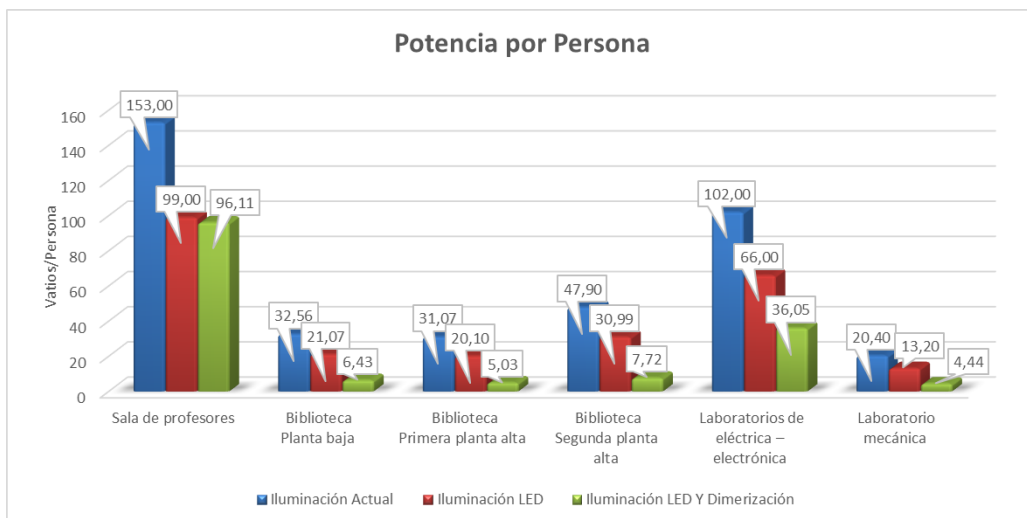


Figura 2.87: Análisis de la potencia por persona dentro de los ambientes de nuestra universidad

- Potencia por área

Al igual que el parámetro anterior, se evidencia la reducción de potencia por metro cuadrado sin alterar el nivel de iluminación.

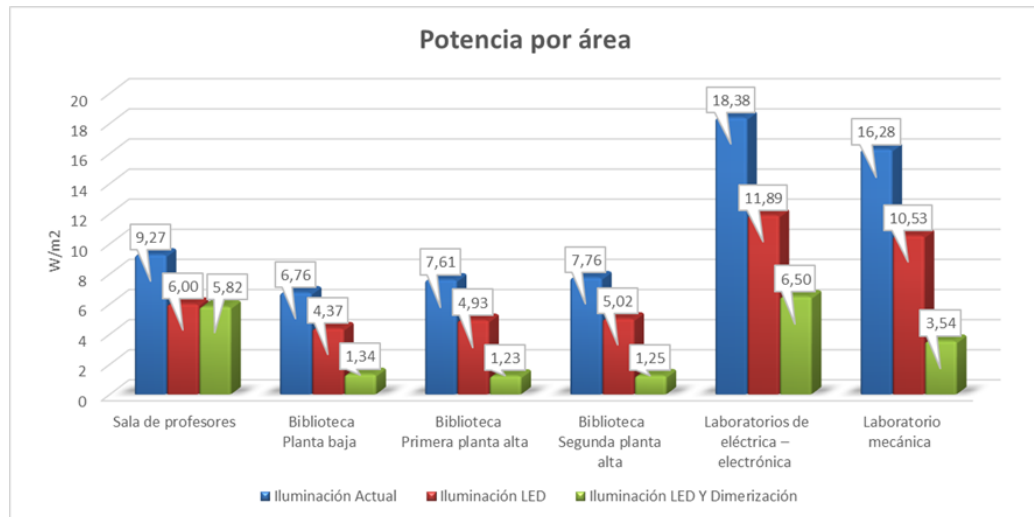


Figura 2.88: Análisis de la potencia por área dentro de los ambientes de nuestra universidad

3 Diseño del Sistema de Iluminación Inteligente

En este capítulo se especifica el análisis del consumo eléctrico en iluminación, así como el diseño del sistema de iluminación inteligente, que se planteó en este proyecto. Este proceso se realiza tomando en cuenta los estudios desarrollados en el segundo capítulo.

En la parte del desarrollo electrónico del sistema se procede a la fabricación de tarjetas de control para la iluminación y posteriormente colocar sobre ésta todos los componentes electrónicos que permitirán lograr el trabajo deseado.

Para el funcionamiento del sistema de iluminación inteligente, se muestra los diseños y la estructura de la interfaz de usuario, a su vez se da a conocer las distintas pruebas realizadas, como también los resultados que proporciona el sistema

3.1. Análisis del Consumo Eléctrico en Iluminación

En las siguientes gráficas, se observa el posible ahorro energético en cada uno de los ambientes analizados, lo cual se demuestra potencial mejora de la eficiencia del consumo eléctrico en iluminación de la Universidad Politécnica Salesiana.

3.1.1. Análisis en la sala de profesores

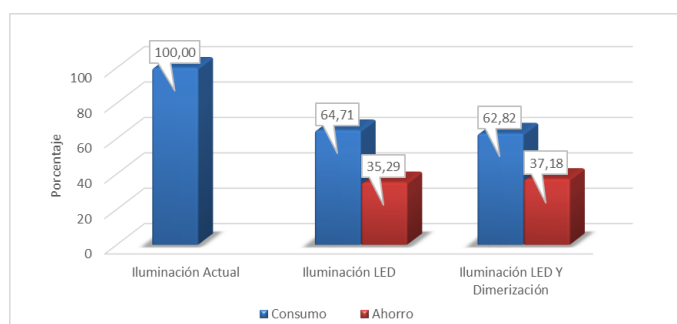


Figura 3.1: Estimación de ahorro energético

3.1.2. Análisis en la planta baja de la Biblioteca

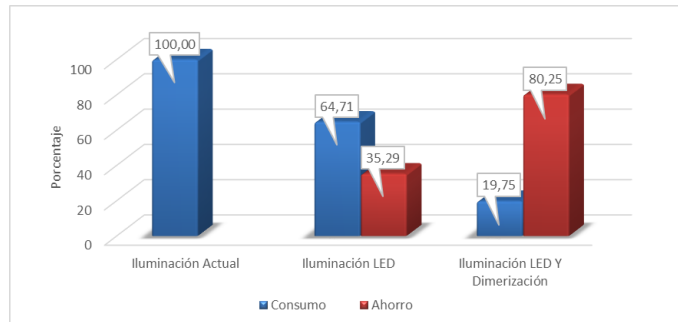


Figura 3.2: Estimación de ahorro energético en la planta baja

3.1.3. Análisis en la primera planta alta de la Biblioteca

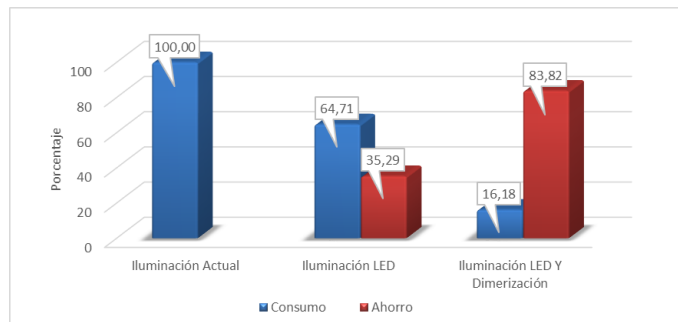


Figura 3.3: Estimación de ahorro energético en la primera planta alta

3.1.4. Análisis en la segunda planta alta de la Biblioteca

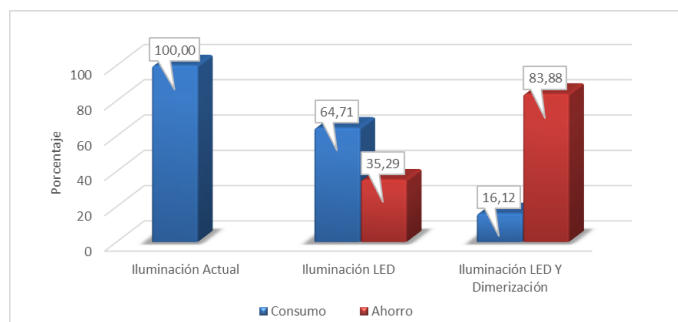


Figura 3.4: Estimación de ahorro energético en la segunda planta alta

3.1.5. Análisis en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

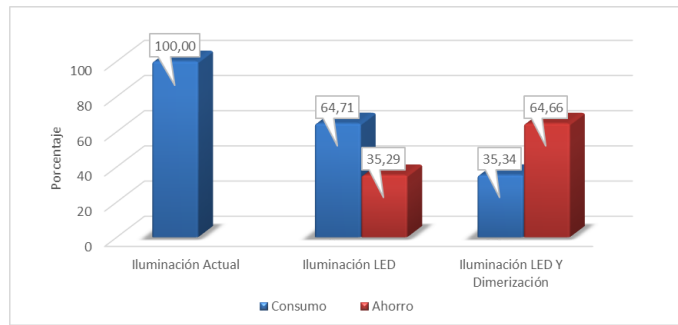


Figura 3.5: Estimación de ahorro energético en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

3.1.6. Análisis en el Laboratorio de mecánica

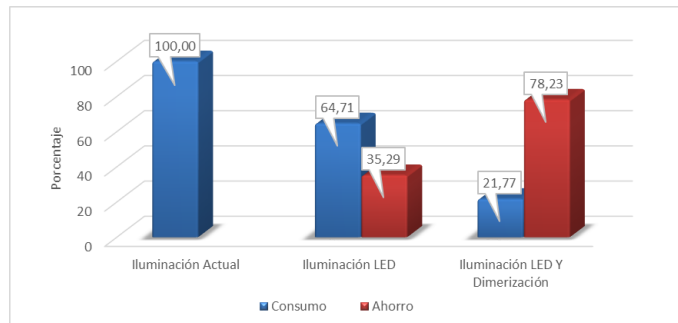


Figura 3.6: Estimación de ahorro energético en el Laboratorio de mecánica

3.2. Diseño del Sistema

A partir de las mediciones realizadas en algunas áreas de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca del consumo eléctrico empleado en iluminación y el costo económico que involucra, se determina viable el diseño de un sistema de gestión energética para lograr una reducción del consumo eléctrico empleado en iluminación.

3.2.1. Objetivos del sistema

El objetivo principal del sistema de gestión energética es disminuir el consumo de energía eléctrica empleado en iluminación.

Esto se puede lograr por medio del cambio de luminarias fluorescentes a tecnología LED que disminuirá el consumo eléctrico en aproximadamente un 33 % logrando así ahorrar recursos energéticos sin comprometer la funcionalidad de los ambientes.

Además el sistema de gestión energética deberá adaptar en tiempo real la iluminación artificial de acuerdo al nivel iluminación natural que exista en ese instante, de tal manera que no se vea afectado el valor de iluminación que la norma recomienda y no afecte el confort visual de las personas.

A continuación se delimitan las funciones que el sistema de gestión energética deberá desempeñar para cumplir con los objetivos planteados.

- Ser capaz de interactuar con la luz del ambiente.
- Dimerizar las luminarias Led para reducir el consumo de energía eléctrica.
- Garantizar el nivel de iluminación que se establece en cada ambiente.
- Realizar mediciones del nivel de iluminación dentro del ambiente de trabajo.
- Poseer una interfaz amigable con el usuario.

3.2.2. Arquitectura del sistema

Se plantea la arquitectura general del sistema de iluminación inteligente.

El microprocesador ATmega2560 está programado para realizar el procesamiento de las señales adquiridas por los sensores, efectuar las órdenes provenientes del usuario, realizar el control y enviar las ordenes a los actuadores.

La comunicación alámbrica está destinada al envío y recepción de datos desde el microprocesador hacia los actuadores o sensores, esta comunicación es serial a 9600bps, con una interfaz a nivel de capa física RS-485 que está diseñada para realizar comunicaciones multipunto diferenciales hasta 32 receptores, y soporta 35 Mbit/s hasta 10 metros y 100 kbit/s en 1200 metros.

La comunicación inalámbrica está enfocada en el acceso remoto del usuario al sistema, se plantean dos tipos de acceso mediante bluetooth o Wi-Fi, según las dimensiones físicas del ambiente a controlar.

Se presenta un panel de control desde el cual se podrá modificar los parámetros de todos los ambientes programados en el microprocesador.

Los sensores están diseñados para proveer información, estos pueden comunicarse directamente al microprocesador mediante los puertos analógicos o digitales, o mediante una comunicación serial según la cantidad de sensores que se necesite.

Los actuadores están diseñados para convertir los datos que son enviados desde el microprocesador a valores de PWM los cuales actúan directamente sobre las luminarias led aumentando o disminuyendo la cantidad de luz.

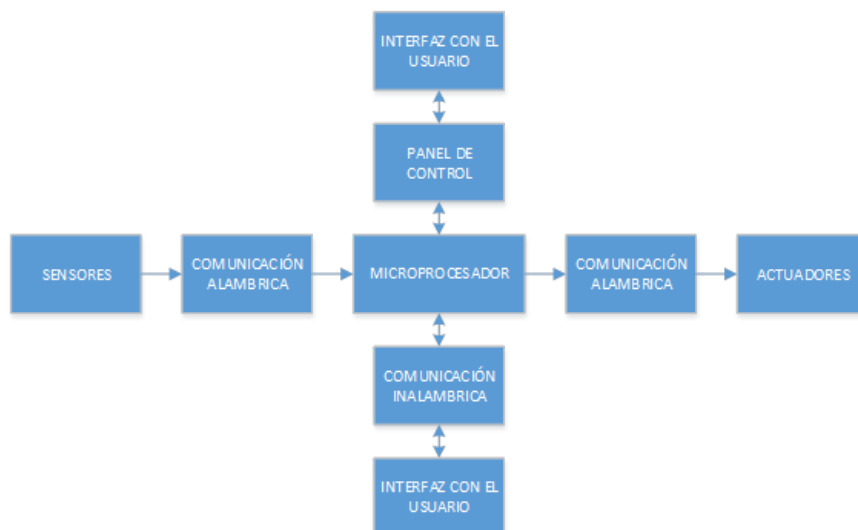


Figura 3.7: Esquema general del sistema de iluminación inteligente

Se plantea a continuación el algoritmo general que gobierna la dimerización de las luminarias led. El cual está basado en un sistema de control discreto.

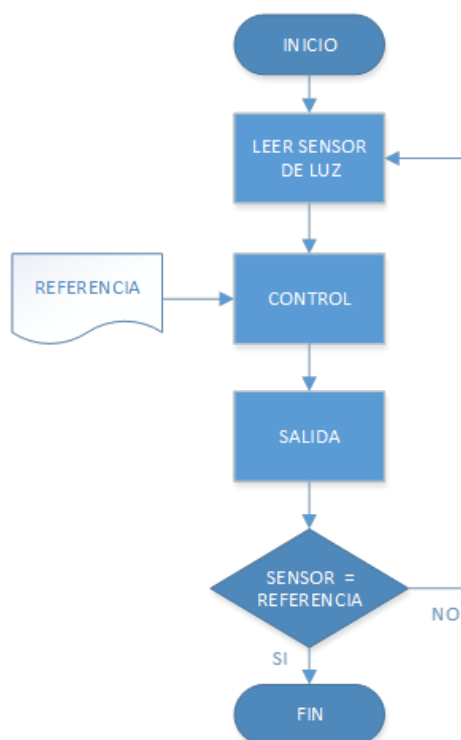


Figura 3.8: Diagrama de flujo general del control de luminarias led

3.2.3. Control de las luminarias led

El tipo de luminarias led con las que el sistema de iluminación inteligente es capaz de interactuar, funcionan con 12V DC, y poseen una fuente de alimentación AC/DC independiente.

El proceso de dimerización se realiza de la misma manera que el fabricante, mediante PWM el cual consiste en la modulación de ancho de pulso de una señal cuadrada a 5kHz, de esta manera se puede controlar la cantidad de energía que se entrega a la luminaria led.

Para realizar la dimerización se ubica un dispositivo electrónico entre la fuente de alimentación AC/DC y la luminaria led.

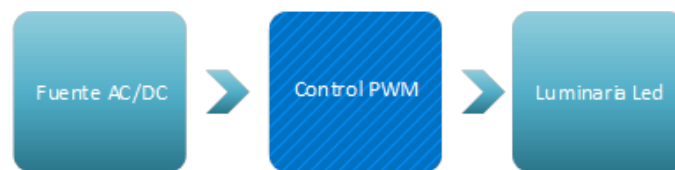


Figura 3.9: Control de luminarias led

3.2.4. Diseño de un medidor de luz

Para realizar las mediciones de iluminación en el ambiente, se utiliza generalmente un luxómetro el cual es capaz de cuantificar el nivel de luz y expresarlo en su unidad de medida (lux).

Debido a las condiciones planteadas para realizar las mediciones de los niveles de iluminación en los sectores de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, es necesario el diseño de un sistema microprocesado que sea capaz de realizar estas mediciones de la manera más eficiente.

Como sensor se optó por utilizar una LDR ya que este componente es capaz de variar su resistividad según la cantidad de luz que incida sobre él, además de que es sencillo de utilizar y de muy bajo costo.

Para realizar la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos, se eligió una placa Arduino Mega 2560 debido a que su hardware no necesita elementos adicionales para su funcionamiento.

Para que el sistema microprocesado pueda transformar de manera fiable el valor de luz adquirido con la LDR a lux fue necesario que se coteje dicho valor con una medición real realizada con un Luxómetro legítimo.

3.2.4.1. Determinación del circuito para el sensor de luz

Para poder realizar la medición del nivel de luz con la LDR, es necesario crear un divisor de tensión, el cual a medida de que aumente el nivel de luz también deberá aumentar el voltaje.

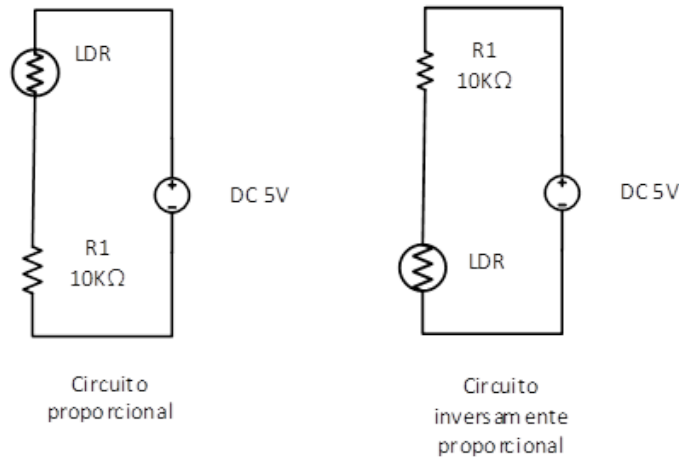


Figura 3.10: Circuitos divisores de tensión

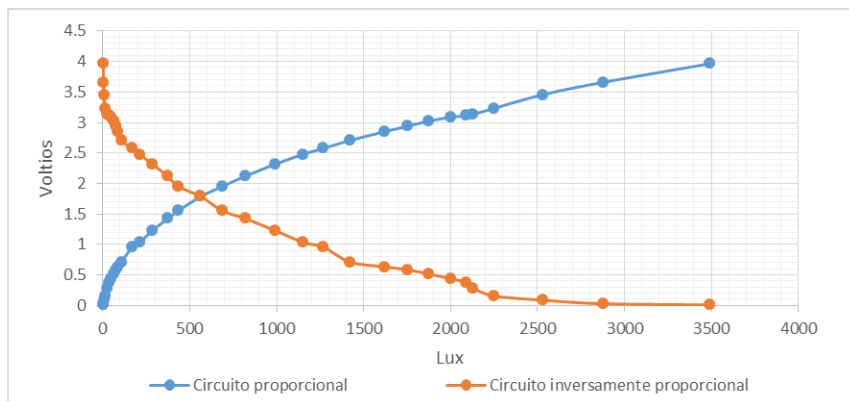


Figura 3.11: Variación del voltaje según la disposición de la LDR

3.2.4.2. Determinación del tamaño del sensor de luz

Utilizando de base los rangos que recomiendan las distintas normas de iluminación, desde 0 a 1000 lux, se realizó una prueba para determinar el mejor tamaño del sensor.

La prueba se realizó entregando valores de luz iguales a 3 sensores de distintos tamaños, determinando la variación de voltaje que presentó cada uno de ellos.

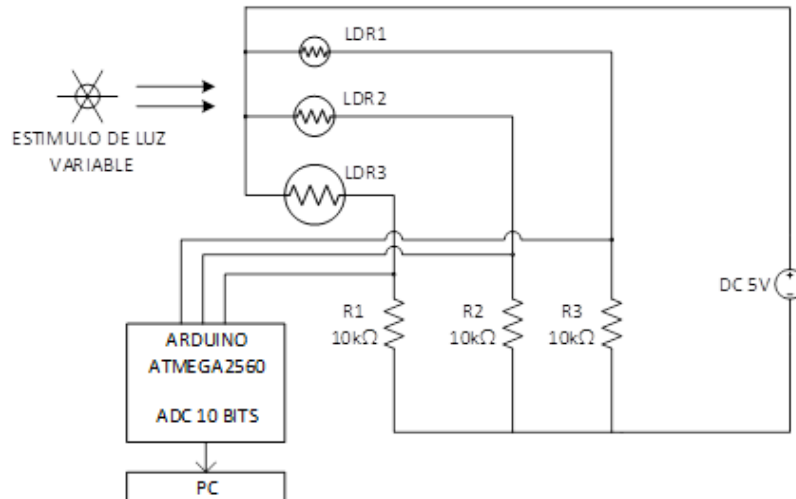


Figura 3.12: Esquema de la prueba realizada para determinar el mejor tamaño del sensor

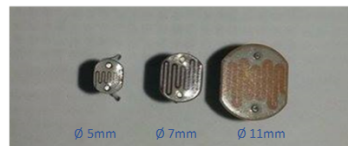


Figura 3.13: Dimensiones de las 3 LDRs que se utilizaron

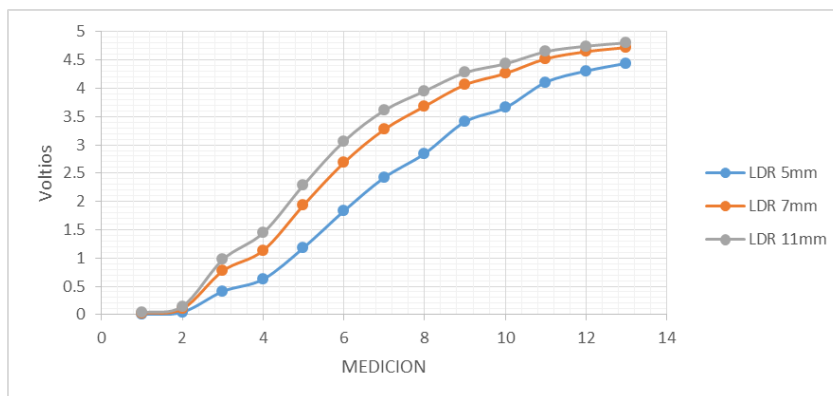


Figura 3.14: Variación de voltaje según el estímulo de luz

De la gráfica se obtiene que la LDR de 5mm presenta una menor sensibilidad a la luz y las LDR's de 7mm y 11mm presentan entre ellas una variación mínima.

Debido a que presenta una sensibilidad moderada a todos los rangos de luz que se necesitan medir y a su bajo costo, se elige a la LDR de 7mm como sensor del sistema.

3.2.4.3. Determinación del valor resistivo para el sensor de luz

Con el fin de que la resolución del ADC de la medida sea lo más precisa posible dentro del rango que recomiendan las normas de iluminación, fue necesario determinar el valor óptimo que conforme el divisor de tensión resistivo.

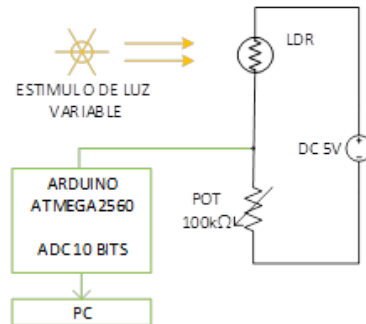


Figura 3.15: Esquema de prueba para determinar el valor resistivo ideal

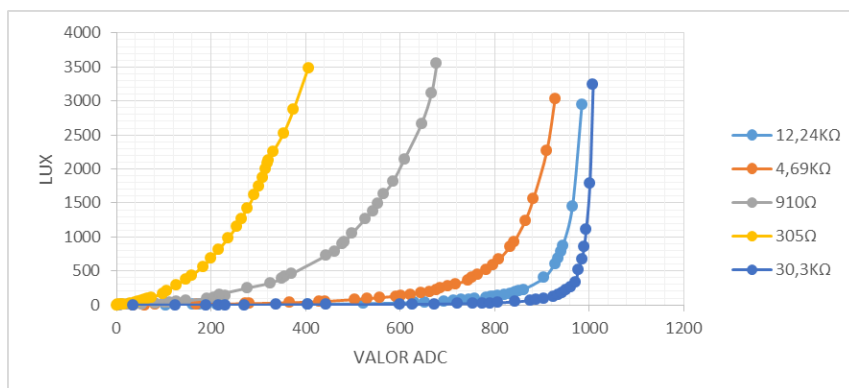


Figura 3.16: Valores del ADC versus niveles de Luz

RESISTENCIA	305Ω	910Ω	4,69KΩ	12,24KΩ	30,3KΩ
ADC	39	350	834	965	994
LUX	39,5	388	862	1452	1104
Lux/Bit	1,01	1,11	1,03	1,50	1,11

Cuadro 3.1: Máximo valor al cual el ADC presenta menos de un lux por bit

De la gráfica y la tabla se puede determinar que si la resistencia del divisor de tensión posee valores bajos, el ADC presentara un rango de medición muy alto pero con un error muy grande.

Caso contrario, si la resistencia del divisor de tensión posee valores altos, el ADC presentara un rango de medición bajo pero con una resolución mayor.

El valor de $4.7K\Omega$ presenta una mejor resolución frente a los niveles de luz que se encuentran dentro de las recomendaciones de las distintas normas de iluminación.

3.2.4.4. Determinación del software para el medidor de luz

Con el fin de poder transformar los valores adquiridos con el ADC a Lux, es necesario la determinación de una ecuación que sea capaz de realizar mencionada tarea.

Para determinar la ecuación es necesario realizar varias mediciones del valor del ADC versus el valor en Lux medido por un luxómetro genuino.

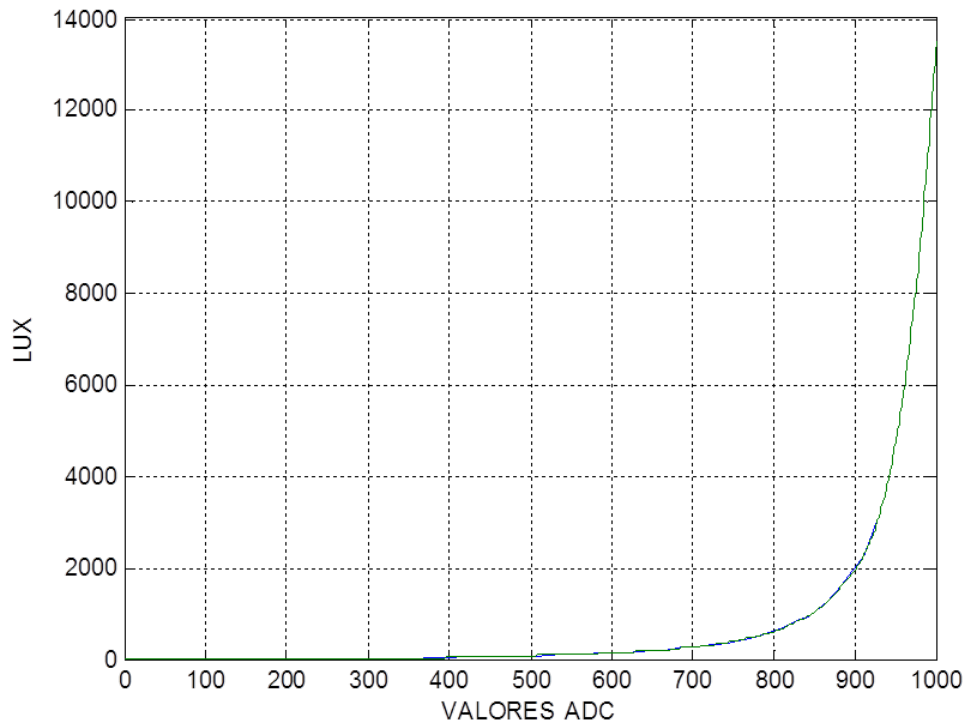


Figura 3.17: Valores del ADC versus valores en Lux, azul (valores medidos), verde (valores interpolados)

De los datos interpolados a partir de las mediciones realizadas, se crea una ecuación de Décimo grado, la cual es capaz de realizar la conversión de valores de ADC a Lux de manera muy eficiente.

$$p1 = 15.116;$$

$$p2 = 81.334;$$

$$p3 = 104.39;$$

$$p4 = -96.58;$$

$$p5 = -191.02;$$

p6 = 162.91;

p7 = 338.11; www.sendeco2.com

p8 = 137.4;

p9 = 120.75;

p10 = 202.65;

p11 = 132.84;

$$y = p1.*z.^{10} + p2.*z.^9 + p3.*z.^8 + p4.*z.^7 + p5.*z.^6 + p6.*z.^5 + p7.*z.^4 + p8.*z.^3 + p9.*z.^2 + p10.*z + p11;$$

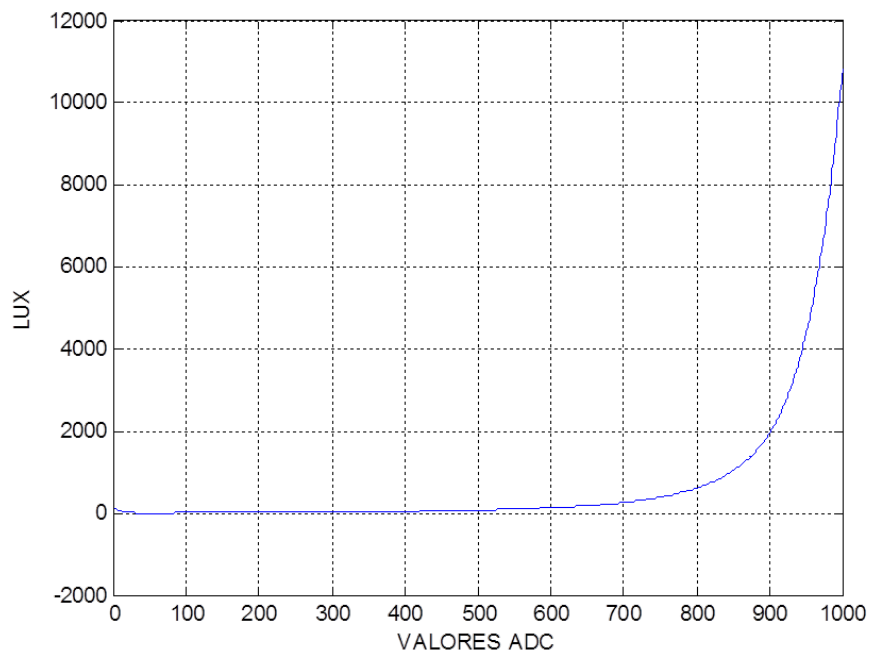


Figura 3.18: Valores generados a partir de la ecuación de conversión de valores ADC a Lux

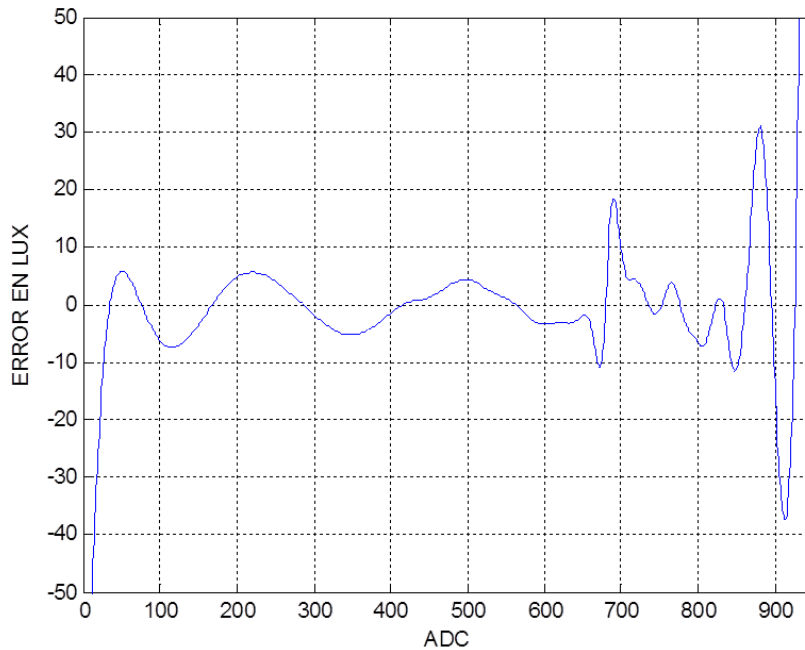


Figura 3.19: Error generado por la ecuación de conversión de valores ADC a Lux

3.2.5. Diseño de la central de gestión lumínica

La central de gestión lumínica está encargada de generar un ahorro energético en iluminación utilizando técnicas de dimerización sobre luminarias led, sin afectar el confort visual de las personas.

Para realizar la dimerización de las luminarias led sin crear molestias a los usuarios, la central de gestión lumínica utiliza algoritmos de control discreto para efectuar este proceso.

El sistema de control discreto utiliza como referencia el nivel de iluminación que las normas recomiendan, no obstante puede ser modificado por el usuario, la retroalimentación es provista por medio de un sensor de luz ubicado a la altura que se requiere el nivel de iluminación, la salida esta provista de varios algoritmos que varían levemente la dimerización de las luminarias led con el fin de que el usuario no perciba el cambio de nivel de iluminación.

Esta central posee una interfaz con el usuario mediante un panel de control en donde se visualizan todos los datos de los sensores y actuadores que están conectados, permitiéndole al usuario modificar todos los parámetros que requiera desde un mismo punto.

El sistema permite:

- Visualizar en lux los niveles de iluminación que mide cada sensor de luz.
- Observar el porcentaje de dimerización en cada actuador.

- Visualizar la potencia utilizada por la iluminación artificial.
- Modificar el nivel de iluminación referencial en cada una de las áreas de trabajo.
- Establecer un nivel de dimerización fijo impidiendo la interacción con la luz natural en cualquier área de trabajo.

Con el fin de facilitar el uso de la central de gestión lumínica se plantean a continuación dos versiones, sin embargo la central puede ser armada con los accesorios que el usuario final necesite.

	HOGAR	INDUSTRIA
SENSORES ANÁLOGOS	✓	
SENSORES DIGITALES		✓
ACTUADORES	✓	✓
PANEL DE CONTROL		✓
ACCESO BLUETOOTH	✓	
ACCESO WI-FI		✓

Cuadro 3.2: Versiones de la central de gestión lumínica

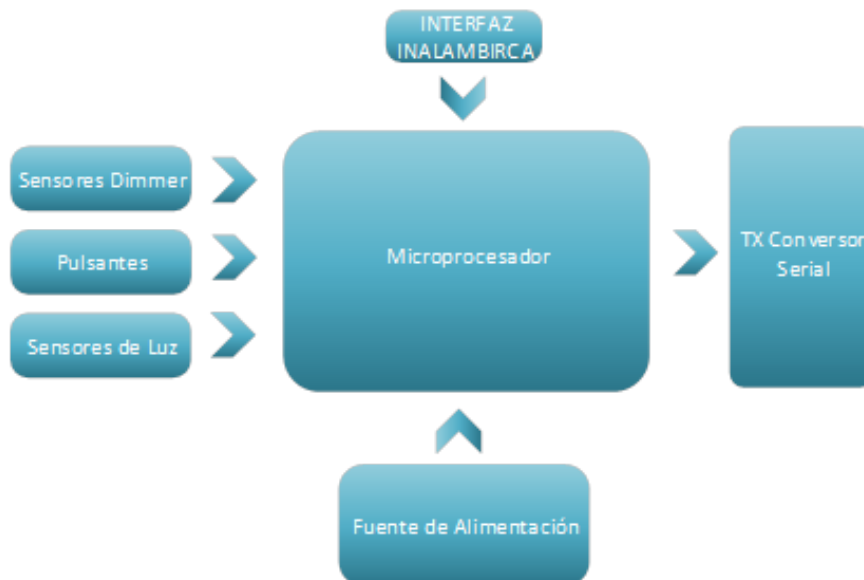


Figura 3.20: Diagrama de la central de gestión lumínica hogar

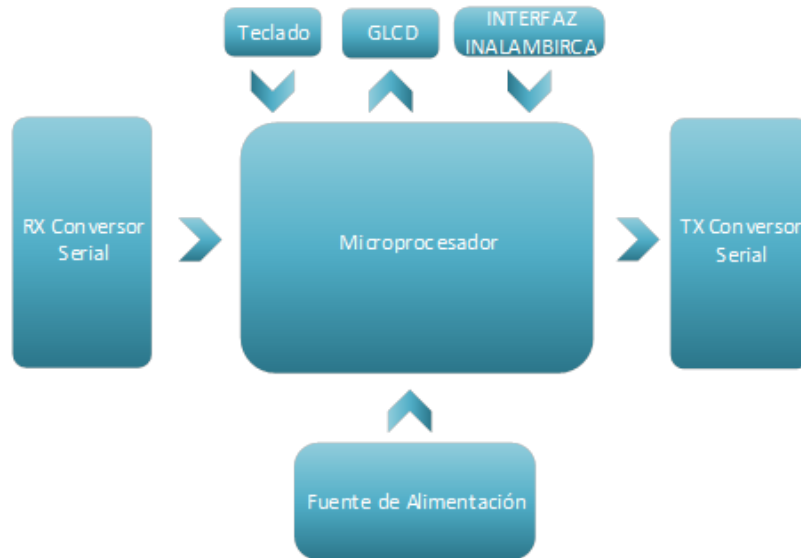


Figura 3.21: Circuito de la central básica de gestión lumínica

El diseño de hardware y software está enfocado en una central de gestión lumínica que pueda interactuar con todos los periféricos mencionados en la tabla anterior. De tal manera que las líneas de programación y los componentes electrónicos sean agregados o quitados según el tipo de central de gestión lumínica que el usuario solicite.

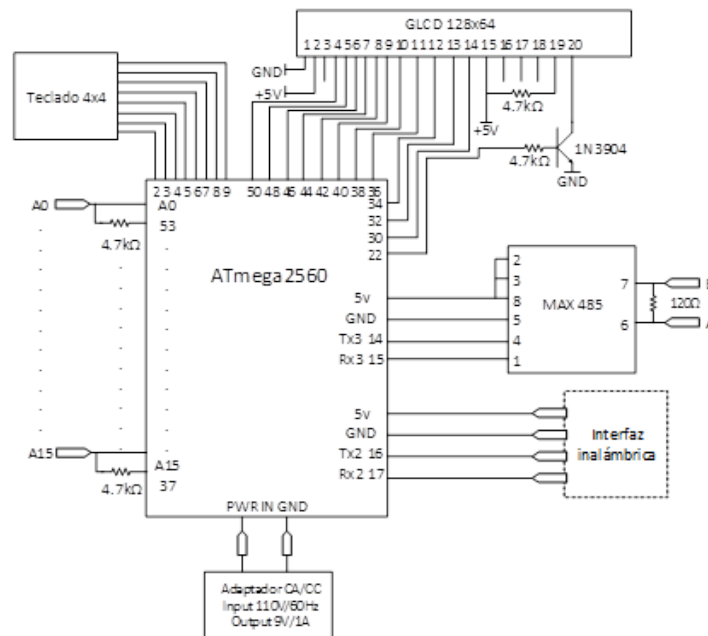


Figura 3.22: Circuito de la central de gestión lumínica

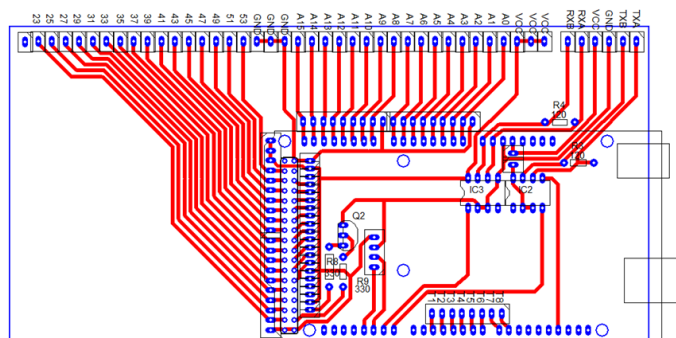


Figura 3.23: PCB de la central de gestión lumínica

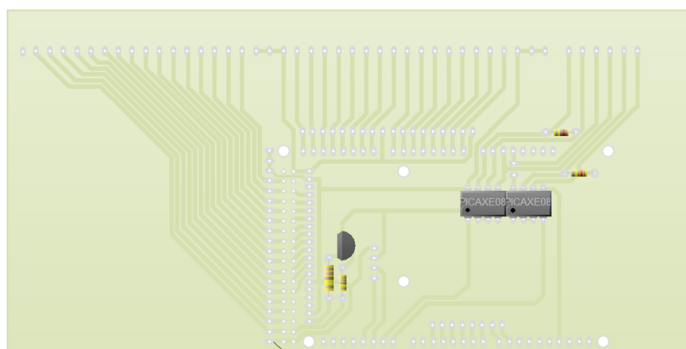


Figura 3.24: PCBA de la central de gestión lumínica

3.2.6. Diseño de sensores

El objetivo de los sensores es proporcionar datos a la central de gestión lumínica, para que pueda realizar la gestión de todas las luminarias led que se encuentran bajo su control.

- Sensores Pasivos

Están diseñados para ambientes en donde se necesite una cantidad menor a 16 sensores, su diseño electrónico posee solo componentes pasivos y se conectan directamente a la central de gestión lumínica.

- Sensores Activos

Están diseñados para ambientes que necesitan una gran cantidad de sensores, su diseño electrónico posee componentes activos y pasivos por lo que necesitan ser alimentado, se conectan a la central de gestión lumínica mediante el protocolo serial RS-485.

El costo de los sensores activos debido a la cantidad de componentes electrónicos que poseen es aproximadamente 4 veces mayor a los sensores pasivos.

3.2.6.1. Diseño de sensor de luz

Este sensor tiene el objetivo de proporcionar información a la central de gestión lumínica acerca del nivel de iluminación que se cuantifica en el ambiente de trabajo.

Este sensor está diseñado de manera similar al medidor de luz, ya que posee una LDR como elemento cuantificador del nivel de luz.

3.2.5.1.1 Diseño de sensor de luz analógico

Este sensor posee un solo elemento pasivo (LDR) y se conecta directamente a un puerto analógico de la central de gestión lumínica.



Figura 3.25: Diagrama de funcionamiento del sensor de luz analógico

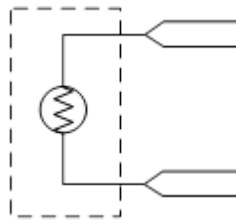


Figura 3.26: Circuito del sensor de luz analógico

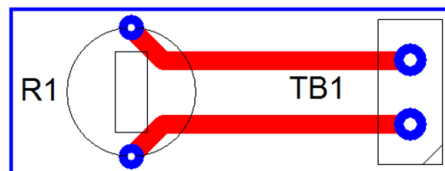


Figura 3.27: PCB del sensor de luz analógico



Figura 3.28: PCBA del sensor de luz analógico

3.2.5.1.2 Diseño de sensor de luz digital

Este sensor posee varios componentes electrónicos pasivos y activos, basa su funcionamiento en el sensor de luz, se conecta a la central de gestión lumínica por medio de una interfaz serial RS-485.



Figura 3.29: Diagrama de funcionamiento del sensor de luz digital

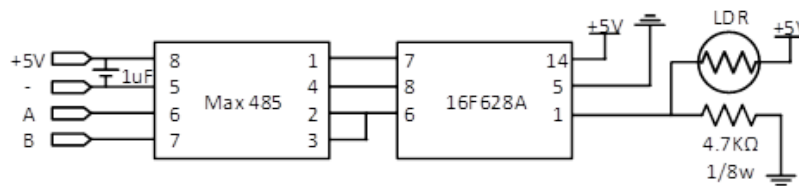


Figura 3.30: Circuito del sensor de luz digital

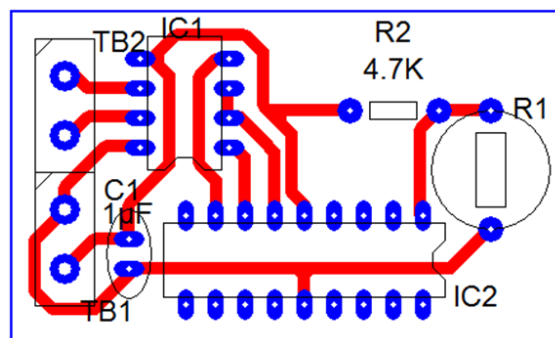


Figura 3.31: PCB del sensor de luz digital

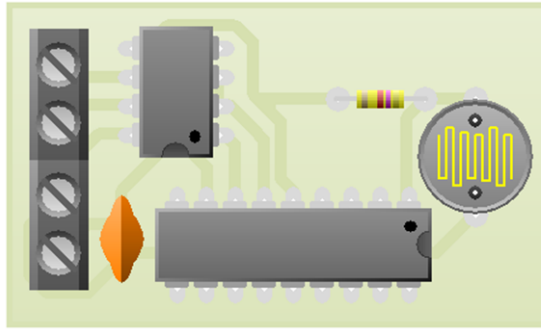


Figura 3.32: PCBA del sensor de luz digital

3.2.6.2. Diseño de sensor dimmer

Este sensor tiene el objetivo de proporcionar información a la central de gestión lumínica acerca del nivel de iluminación que solicita el usuario.

Este sensor está construido mediante un potenciómetro, el cual según su posición crea una variación de su resistencia la cual se utiliza como referencia del nivel de luz que se requiere.

3.2.5.2.1 Diseño de sensor dimmer analógico

Este sensor posee un solo elemento pasivo (potenciómetro) y se conecta directamente a un puerto analógico de la central de gestión lumínica.



Figura 3.33: Diagrama de funcionamiento del sensor dimmer analógico

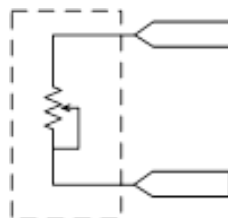


Figura 3.34: Circuito del sensor dimmer analógico

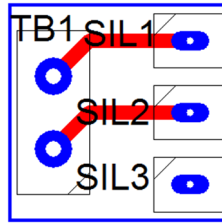


Figura 3.35: PCB del sensor dimmer analógico

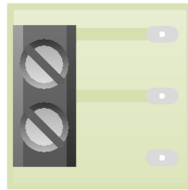


Figura 3.36: PCBA del sensor dimmer analógico

3.2.5.2.2 Diseño de sensor dimmer digital

Este sensor posee un solo elemento pasivo (potenciómetro) y se conecta directamente a un puerto analógico de la central de gestión lumínica.



Figura 3.37: Diagrama de funcionamiento del sensor dimmer digital

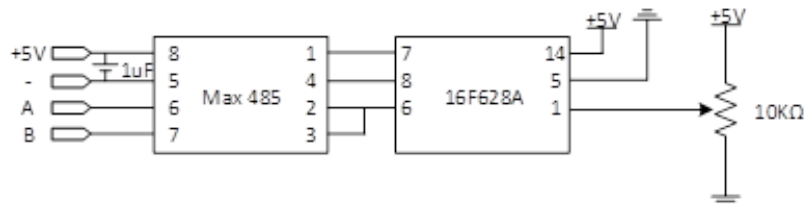


Figura 3.38: Circuito del sensor dimmer digital

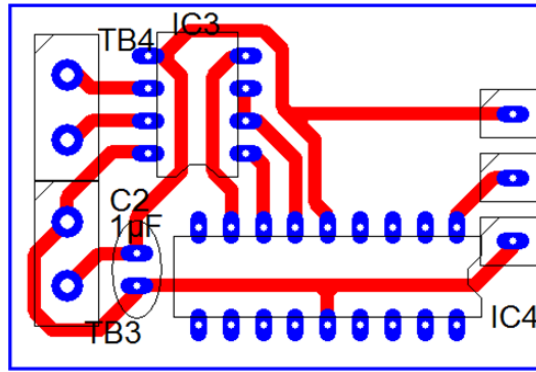


Figura 3.39: PCB del sensor dimmer digital

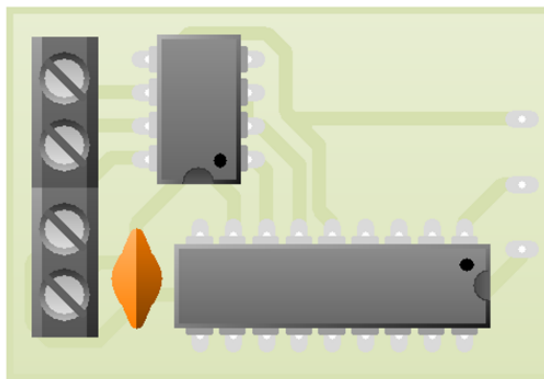


Figura 3.40: PCBA del sensor dimmer digital

3.2.6.3. Diseño de sensor pulsante

Este sensor tiene el objetivo de proporcionar información originada por el usuario a la central de gestión lumínica para encender o apagar las luminarias led del ambiente.

3.2.5.3.1 Diseño de sensor pulsante analógico

Este sensor está construido mediante un pulsador eléctrico, se conecta directamente a un puerto digital de la central de gestión lumínica.



Figura 3.41: Diagrama de funcionamiento del sensor pulsante analógico

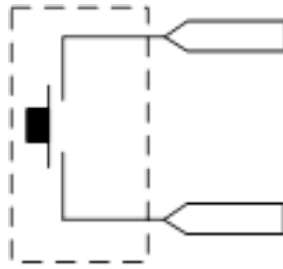


Figura 3.42: Circuito del sensor pulsante analógico



Figura 3.43: Pulsante eléctrico

3.2.5.3.2 Diseño de sensor pulsante digital

Este sensor posee varios componentes electrónicos pasivos y activos, basa su funcionamiento en un pulsante eléctrico, se conecta a la central de gestión lumínica por medio de una interfaz serial RS-485.



Figura 3.44: Diagrama de funcionamiento del sensor pulsante digital

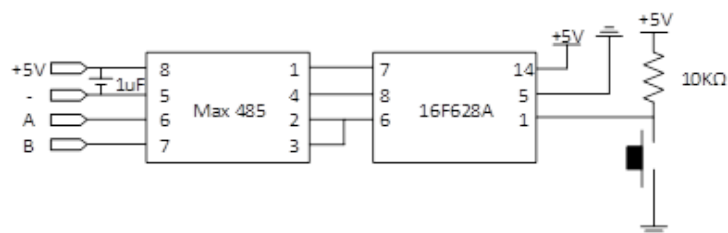


Figura 3.45: Circuito del sensor pulsante digital

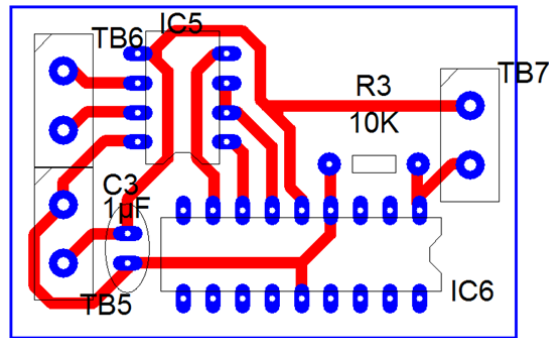


Figura 3.46: PCB del sensor dimmer digital

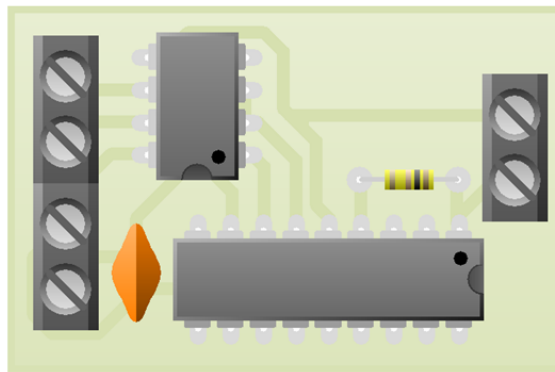


Figura 3.47: PCBA del sensor pulsante digital

3.2.7. Diseño del actuador

La función del actuador es dimerizar las luminarias led según las ordenes que la central de gestión lumínica efectúe.

Este dispositivo recibe tramas de 8 bits por medio del protocolo industrial serial 485, dentro de esta trama existe una dirección y un valor de dimerización, las cuales son interpretadas por el microprocesador, el cual si corresponde a la dirección, ejecuta el nuevo valor de dimerización por medio de su módulo PWM, esta señal generada es amplificada para que pueda interactuar directamente con las luminarias led y dimerizarlas. Puede manejar un máximo de 5 amperios.

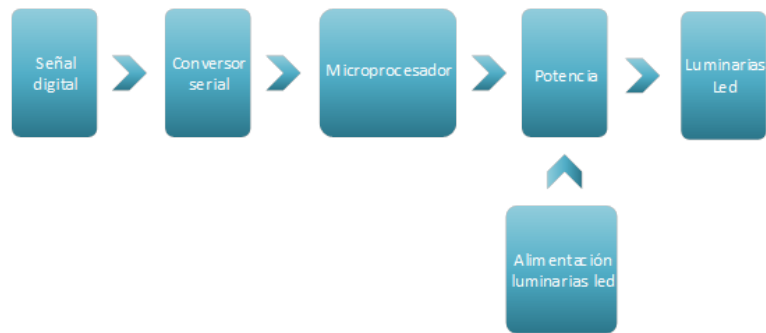


Figura 3.48: Diagrama de funcionamiento del actuador

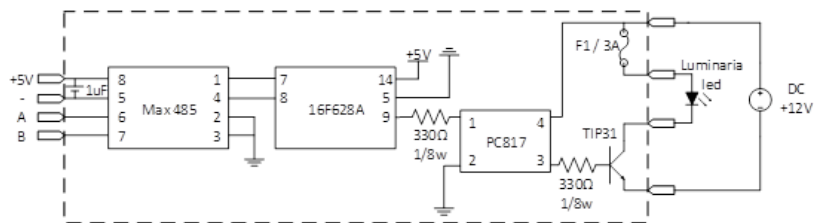


Figura 3.49: Circuito del actuador

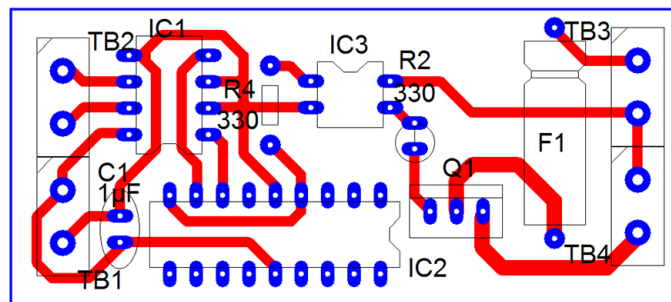


Figura 3.50: PCB del actuador

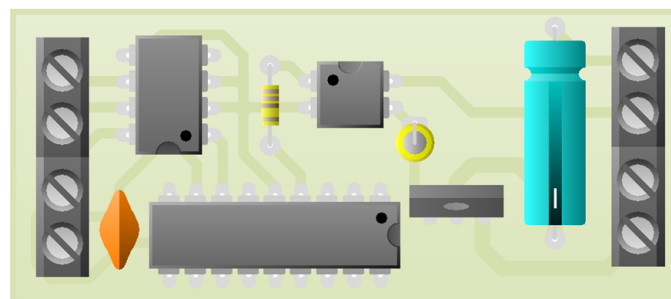


Figura 3.51: PCBA del actuador

3.2.8. Diseño del sistema de control

Con el fin de controlar de manera correcta el porcentaje de dimerización de las luminarias led, se plantea un sistema de control discreto que se encargue del proceso de manera autónoma.

A continuación se presenta la señal de salida de la planta sin controlador.

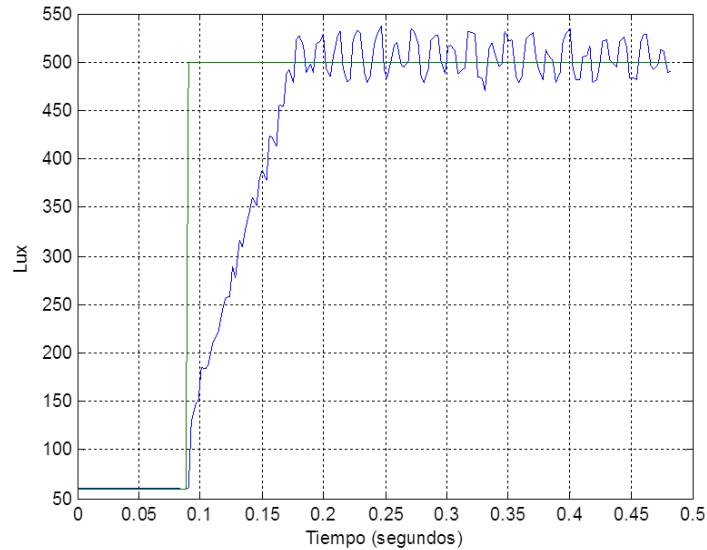


Figura 3.52: Señal de referencia (verde), Señal de salida (azul)

En la gráfica se pueden corroborar los problemas que se evidencian visualmente del sistema de iluminación inteligente.

- Debido a que los valores de dimerización y retroalimentación son discretos, el sistema se vuelve oscilante si el nivel de iluminación producido por las luminarias led no es exacto al medido por el sensor de luz.
- El sistema crece de una manera rápida para alcanzar la referencia requerida, por lo que crea una incomodidad visual para el usuario, al variar la referencia se evidenciarían aún más los cambios bruscos en la dimerización de las luminarias led.

3.2.8.1. Error en estado estable del sistema de iluminación inteligente

Debido a que el sistema trabaja con valores discretos el porcentaje de dimerización varía en intervalos regulares del 0.45 %.

Cuando el sistema controle la salida podría ocurrir una oscilación debido a que la señal de salida no pueda generar un valor de dimerización que cause que la retroalimentación sea igual a la referencia.

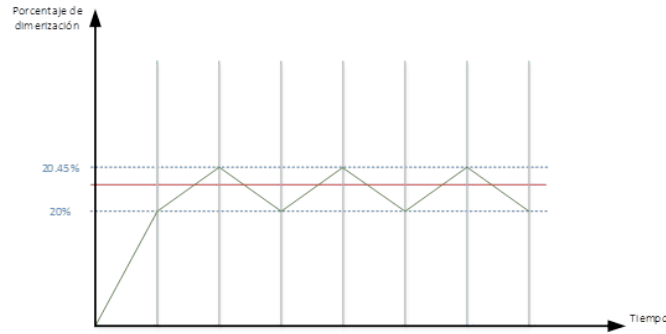


Figura 3.53: Dimerización con el problema de oscilaciones

Con el fin de corregir esta oscilación se crea a propósito un algoritmo que genere un rango de error de ± 10 Lux, produciendo la estabilidad del sistema.

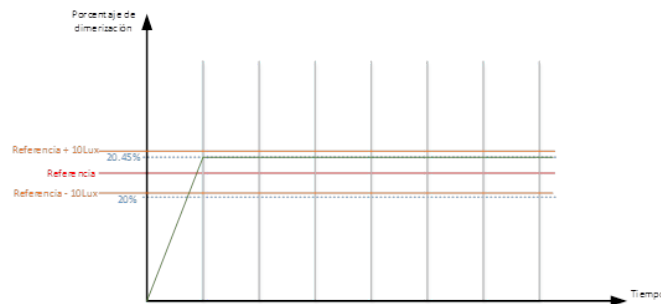


Figura 3.54: Dimerización con el algoritmo de corrección de oscilaciones

3.2.8.2. Determinación de la planta en tiempo continuo

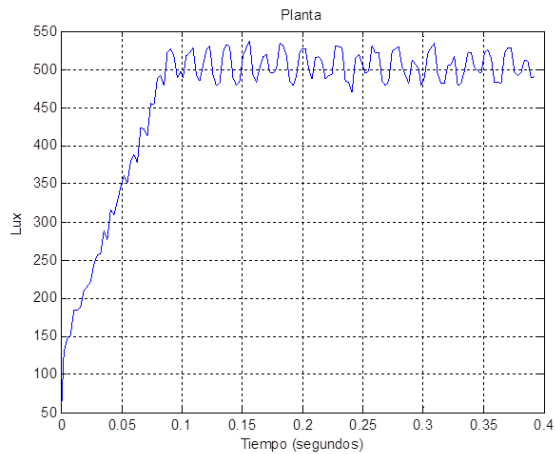


Figura 3.55: Respuesta al escalón del sistema sin controlador

En base a la gráfica obtenida se utiliza en método de Smith para determinar la función de transferencia de primer orden de la planta, utilizando los dos puntos en donde la respuesta alcanza el 28,3% y el 63,2% del valor final.

$$t_{28,3\%} = 0,005479s$$

$$t_{63,2\%} = 0,04657s$$

$$\tau = 1,5(t_{63,2\%} - t_{28,3\%})$$

$$\tau = 0,06163$$

$$\theta = t_{63,2\%} - \tau$$

$$\theta = -0,015$$

$$G_p(s) = \frac{K * e^{-\theta s}}{\tau s + 1}$$

$$G_p(s) = \frac{500 * e^{0,015s}}{0,06163s + 1}$$

Debido a que el control para este sistema en particular se diseña para aumentar el tiempo de respuesta, el tiempo de retraso es despreciado y solo se utiliza para determinar la función de transferencia de la planta.

$$\mathbf{G_p(s) = \frac{500}{0,06163s + 1}}$$

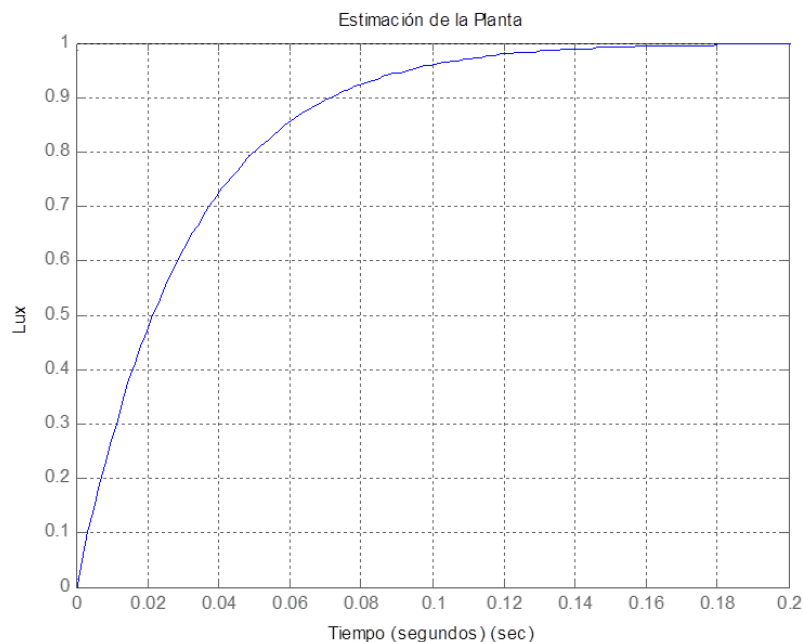


Figura 3.56: Respuesta al escalón de la ecuación aproximada de la planta

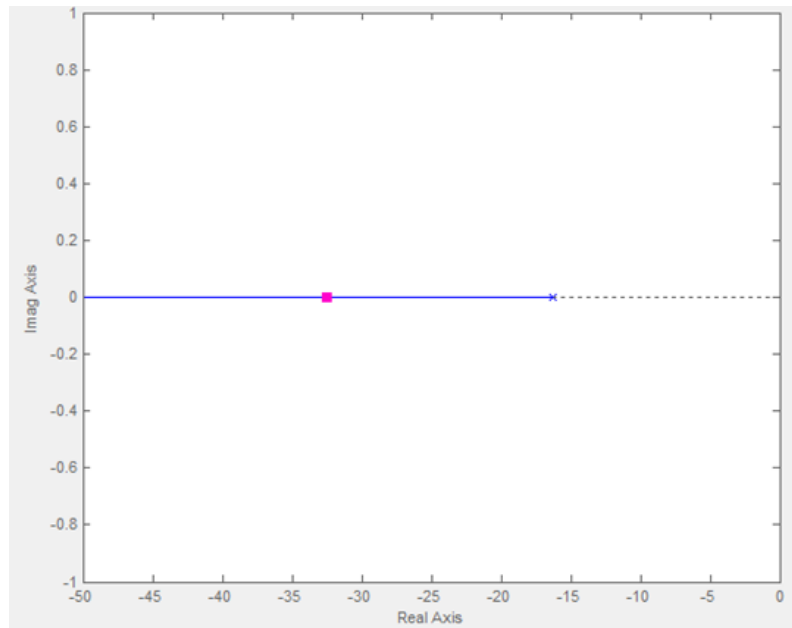


Figura 3.57: Lugar geométrico de las raíces de la planta

3.2.8.3. Diseño del controlador en tiempo continuo

Con el fin de corregir los problemas de este sistema se plantea un controlador que sea capaz de aumentar el tiempo de respuesta del sistema y evitar que el sistema se vuelva oscilante.

Para ello se determinaran todos los valores necesarios del controlador en tiempo continuo y al final se realizara la conversión a tiempo discreto.

Para realizar el control del sistema se establece un controlador PID ya que este presenta el mayor rango de flexibilidad según los objetivos que se desean cumplir.

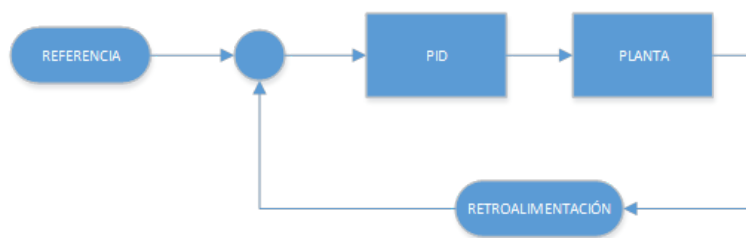


Figura 3.58: Diagrama de bloques del sistema completo controlado

Para realizar la sintonización del controlador se utilizó la herramienta “rltool” del software matlab que permite el diseño del controlador PID de manera gráfica mediante el lugar geométrico de raíces.

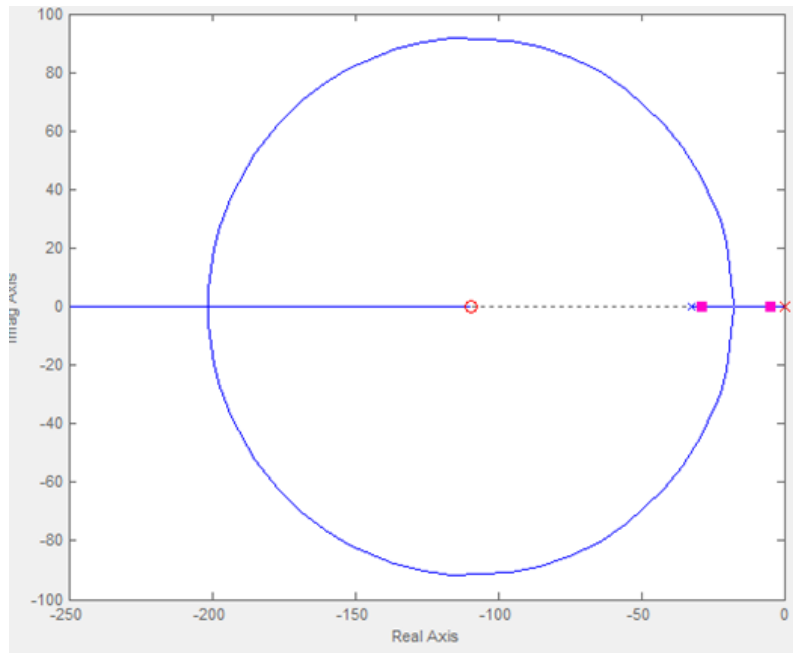


Figura 3.59: Lugar geométrico de raíces de la planta con el controlador

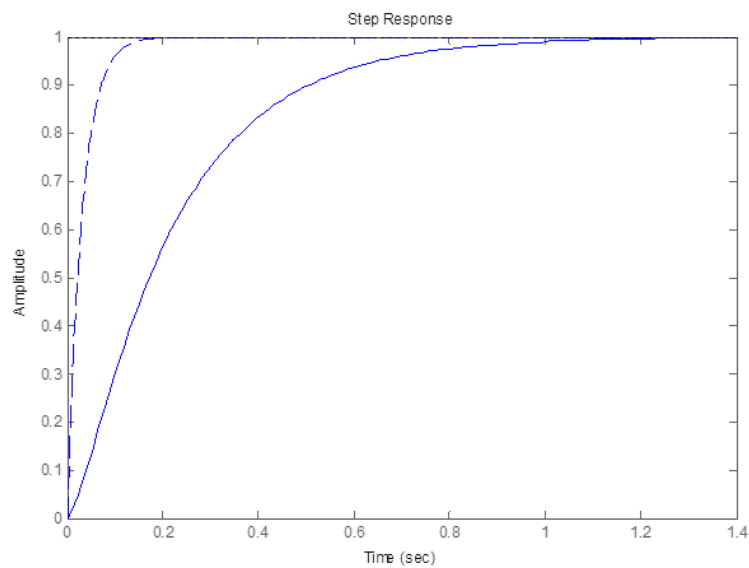


Figura 3.60: Respuesta al escalón del sistema controlado (línea continua), y de la planta (línea de trazo)

De la sintonización realizada en el software matlab basada en la respuesta que se desea obtener se determinan las constantes del controlador PID.

$$K_p = 0,0392$$

$$T_i = 0,0091$$

$$T_d = 0$$

$$G_c(s) = K_p \left(1 + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right)$$

$$G_c(s) = 0,0392 \left(1 + \frac{1}{0,0091s} \right)$$

3.2.8.4. Diseño del controlador en tiempo discreto

Debido a que el control es realizado por medio de un microprocesador, es necesario que las constantes del controlador sean transformadas a su equivalente en tiempo discreto en donde interviene la frecuencia de muestreo como una nueva variable.

$$f = 10 \text{ Hz}$$

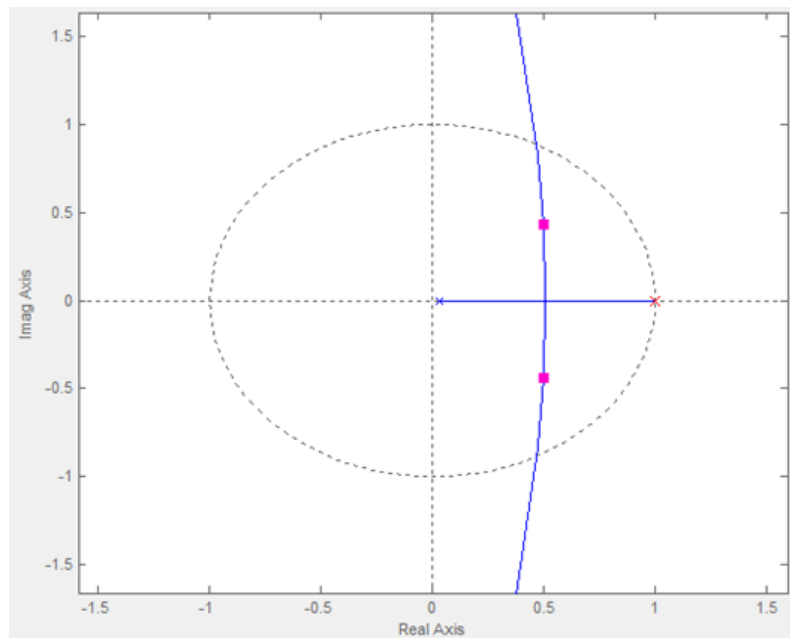


Figura 3.61: Lugar geométrico de raíces en el dominio z (discreto)

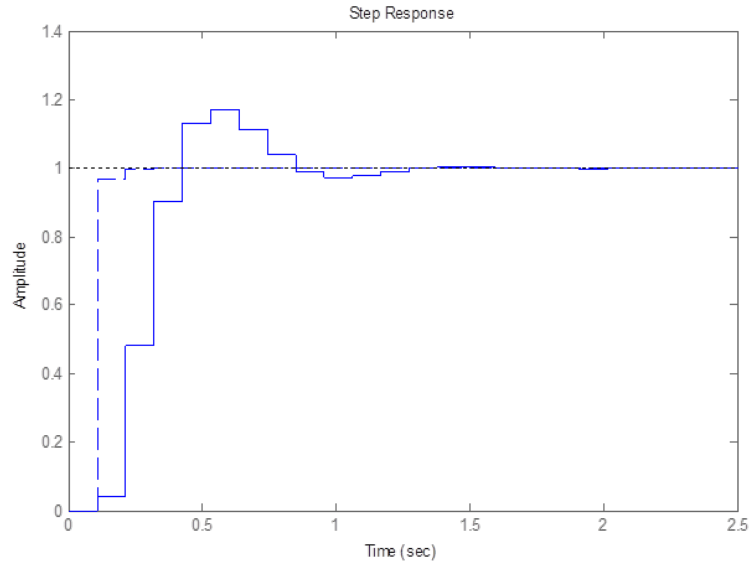


Figura 3.62: Respuesta al escalón en tiempo discreto del sistema controlado (línea continua), y de la planta (línea de trazo)

Al realizar la conversión a tiempo discreto el controlador sufre cambios que alteran su comportamiento, debido a ello se realiza un ajuste menor por medio del lugar geométrico de las raíces para obtener la respuesta deseada.

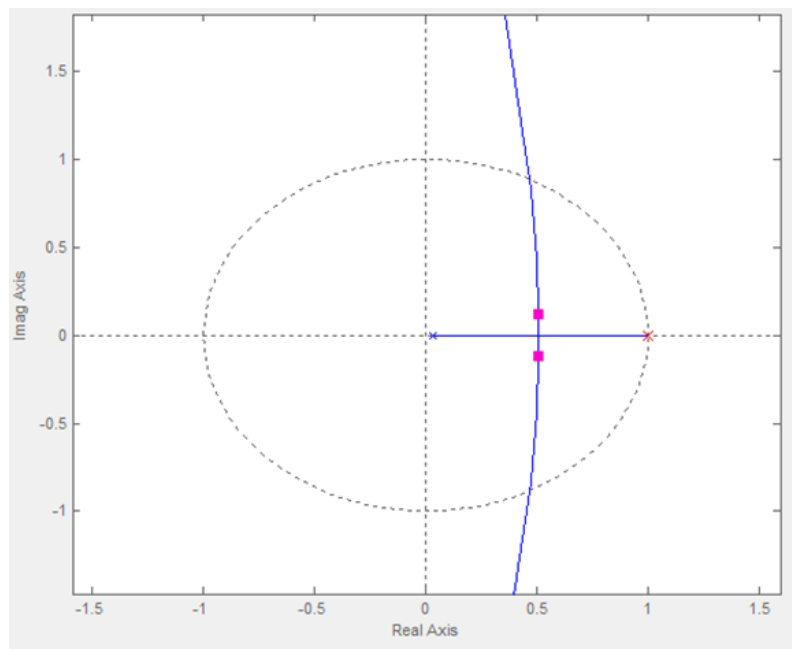


Figura 3.63: Lugar geométrico de raíces en el dominio z (discreto)

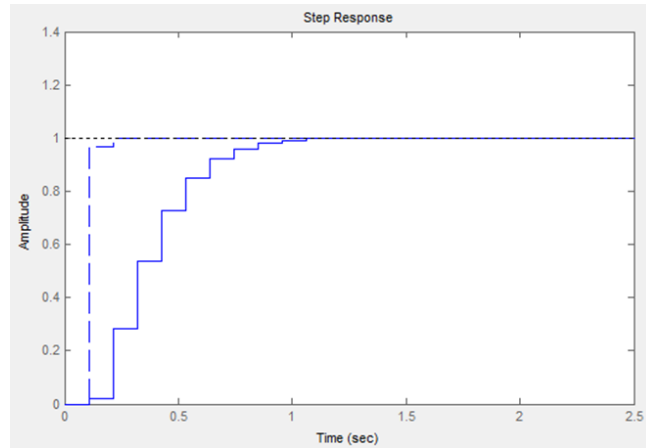


Figura 3.64: Respuesta al escalón en tiempo discreto del sistema controlado (línea continua), y de la planta (línea de trazo)

$$K_p = 0,00243$$

$$T_i = 0,0091$$

$$T_d = 0$$

$$u(k) = u(k - 1) + K_p \left[e(k) - e(k - 1) + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T} (e(k) - 2e(k - 1) + e(k - 2)) \right]$$

$$u(k) = u(k - 1) + 0,00243 [e(k) - e(k - 1) + 10,98 * e(k)]$$

3.2.9. Prueba del sistema de control

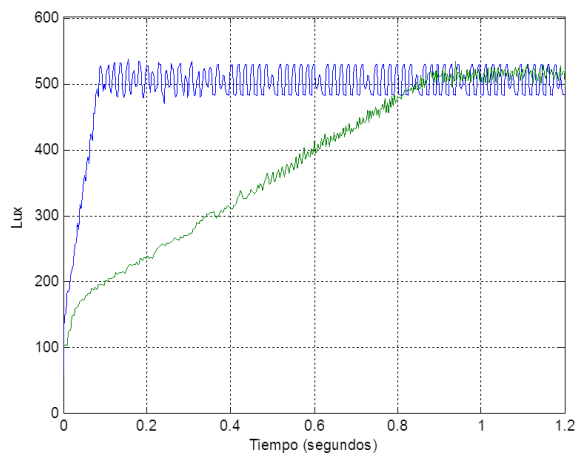


Figura 3.65: Señal de salida real controlada (verde), Señal de salida real sin controlar (azul)

A partir de la gráfica se puede concluir que los objetivos planteados para el controlador han sido cumplidos.

- La señal de salida del sistema con control tiene un tiempo de reacción mayor con respecto a la señal sin controlar.
- En la señal de salida del sistema con control las oscilaciones han disminuido totalmente, las perturbaciones que se muestran en la gráfica son generadas a partir del ruido y son imperceptibles para el usuario.

3.3. Implementación y Pruebas

3.3.1. Implementación

Después de haber diseñado todos los dispositivos que conforman el sistema de gestión energética, es necesario realizara la implantación de cada uno de ellos con el fin de poder evaluar su desempeño.

Debido a que existe la probabilidad de que los diseños necesiten correcciones de hardware o software se imprimieron prototipos de cada uno de los dispositivos sobre placas perforadas.

Luego de haber realizado todas las correcciones necesarias se implementaron todos los dispositivos sobre PCB y estructuras de acrílico.

3.3.1.1. Implementación de la central de gestión lumínica

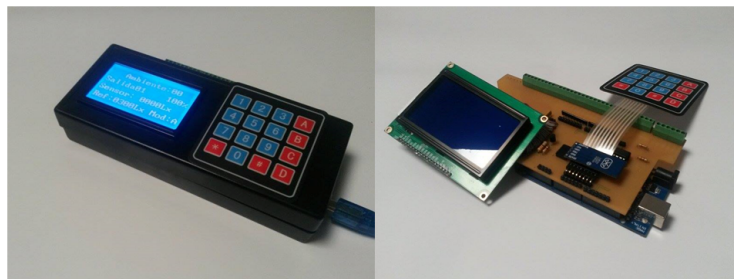


Figura 3.66: Prototipo de la central básica de gestión lumínica creado para evaluar el desempeño del circuito

3.3.1.2. Implementación del sensor de luz

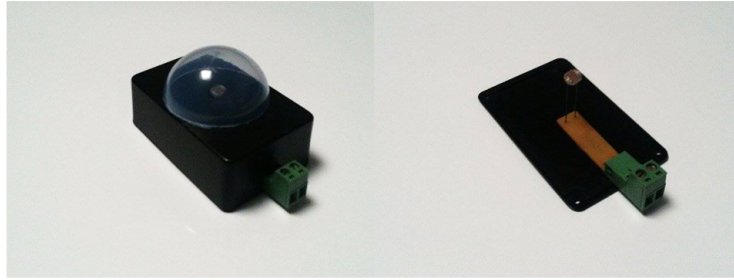


Figura 3.67: Prototipo del sensor de luz creado para evaluar el desempeño del circuito

3.3.1.3. Implementación del actuador

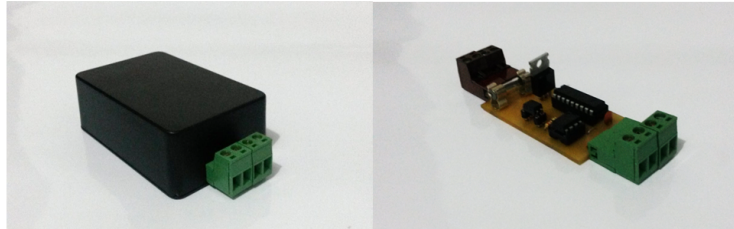


Figura 3.68: Prototipo del actuador creado para evaluar el desempeño del circuito

3.3.2. Pruebas

Para evaluar el correcto desempeño del hardware y software que conforman el sistema de gestión energética, se plantea una prueba real con el fin de poder apreciar el desempeño del sistema para el ahorro energético.

3.3.2.1. Prueba de luminarias led

Esta prueba se enfocó en determinar la eficiencia de las fuentes de alimentación de las luminarias led y su consumo de potencia frente a distintos porcentajes de dimerización.

Para realizar esta prueba se utilizó una fuente de alimentación de 12V/5A, una luminaria led de 12V/11W y dos vatímetros. Con el fin de medir la variación de potencia consumida antes y después de la fuente de alimentación según el porcentaje de dimerización.

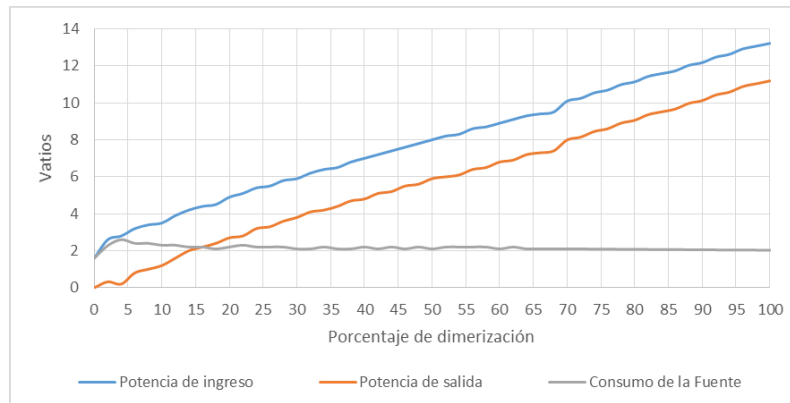


Figura 3.69: Potencia consumida versus porcentaje de dimerización de una luminaria led

Porcentaje de dimerización	Potencia de Ingreso	Potencia de Salida
0%	2,1 W	0 W
100%	13,2 W	11,1 W

Cuadro 3.3: Mediciones mínimas y máximas tomadas durante la prueba

La siguiente ecuación expresa la potencia consumida según el porcentaje de dimerización al cual se encuentra sometida la luminaria led.

$$Potencia Consumida = 0,1074 * Porcentaje de Dimerización + 2,5642 \quad (3.1)$$

3.3.2.2. Pruebas del sistema de iluminación inteligente

3.3.2.2.1 Pruebas de eficiencia del sistema de iluminación inteligente

Para realizar la prueba del sistema de gestión energética se estableció un ambiente controlado con un considerable ingreso de la luz natural. En este ambiente se realizaron varias medidas del nivel de iluminación y porcentaje de dimerización con el fin de evaluar la eficacia del sistema y cuantificar el ahorro energético.

Se estableció un nivel de iluminación referencial de 200 Lux, durante un día laborable, desde las 7Am hasta las 21h00, buscando determinar la eficiencia del sistema, el error que posee y algún cambio que se requiera.

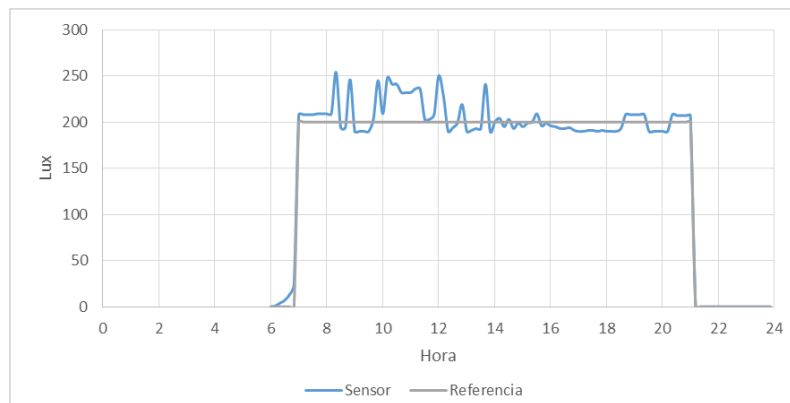


Figura 3.70: Medición del nivel de iluminación con el sistema de gestión energética

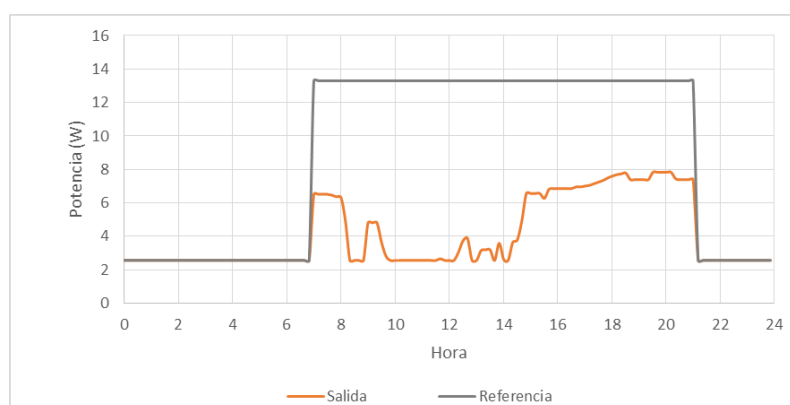


Figura 3.71: Medición del porcentaje de potencia consumida con el sistema de gestión energética

Consumo de energía	24,74%
Ahorro de energía	75,26%
Referencia del nivel de iluminación	200 Lux
Medida promedio del Sensor de Luz	205,28 Lux
Error promedio del sistema	1,08%
Error máximo del sistema	5,00%

Cuadro 3.4: Valores más representativos de la prueba del sistema de gestión energética

3.3.2.2.2 Pruebas de consumo del sistema de iluminación inteligente

Se determinó el consumo de los distintos dispositivos que forman parte del sistema de iluminación inteligente.

	Voltaje	Corriente	Potencia
Sensores análogos	5V	1mA	5mW
Sensores digitales	5V	11mA	55mW
Actuadores	5V	11mA	55mW
Panel de control	5V	6.3mA	31.5mW
Central de gestión lumínica	9V	82mA	738mW
Acceso bluetooth	5V	41mA	205mW
Acceso Wi-Fi	5V	41mA	205mW

Cuadro 3.5: Consumo de los dispositivos del sistema de iluminación inteligente

3.4. Análisis de resultados

- Acerca del Ahorro de Potencia

De las mediciones de potencia realizadas a las luminarias led y a sus fuentes de alimentación, se puede determinar que son capaces de ahorrar energía eléctrica según el porcentaje de atenuación al cual se encuentra sometida de manera proporcional. Al mismo tiempo se determinó que la fuente de alimentación para su correcto funcionamiento necesita consumir 2W sin importar la potencia que entregue a su salida.

- Acerca del sistema de iluminación inteligente

De los datos adquiridos del nivel de iluminación, se llega a la conclusión de que el sistema es capaz de garantizar el nivel de luz deseado en el ambiente de trabajo con un error promedio de ± 10 Lux el cual se considera despreciable.

De las mediciones realizadas a los distintos dispositivos que forman parte del sistema de iluminación inteligente, se determina que presenta un muy bajo consumo eléctrico, a pesar de ello se considerara este valor para el análisis económico.

3.4.1. Proyección del ahorro energético con el sistema de iluminación inteligente

Utilizando como base las mediciones realizadas en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca de los niveles de iluminación, potencia consumida por las luminarias y eficiencia del sistema de iluminación inteligente, se estima el ahorro energético que se podría obtener en los distintos ambientes.

Para la proyección del ahorro energético en la sala de profesores se descarta el aporte de la iluminación natural debido a que los niveles de ingreso son muy bajos, en cambio se estima el ahorro energético en base al control de la iluminación sobre cada una de las oficinas de manera independiente ya que en promedio se encuentran 8 de las 17 oficinas funcionando durante el día.

	Consumo	Ahorro
Iluminación Actual	100,00%	0,00%
Iluminación LED	64,71%	35,29%
Sistema de iluminación inteligente real	37,41%	62,59%

Cuadro 3.6: Ahorro energético en la sala de profesores

	Consumo	Ahorro
Iluminación Actual	100,00%	0,00%
Iluminación LED	64,71%	35,29%
Sistema de iluminación inteligente real	22,63%	77,37%

Cuadro 3.7: Ahorro energético en la planta baja de la Biblioteca

	Consumo	Ahorro
Iluminación Actual	100,00%	0,00%
Iluminación LED	64,71%	35,29%
Sistema de iluminación inteligente real	19,02%	80,98%

Cuadro 3.8: Ahorro energético en la primera planta alta de la Biblioteca

	Consumo	Ahorro
Iluminación Actual	100,00%	0,00%
Iluminación LED	64,71%	35,29%
Sistema de iluminación inteligente real	18,99%	81,01%

Cuadro 3.9: Ahorro energético en la segunda planta alta de la Biblioteca

	Consumo	Ahorro
Iluminación Actual	100,00%	0,00%
Iluminación LED	64,71%	35,29%
Sistema de iluminación inteligente real	38,52%	61,48%

Cuadro 3.10: Ahorro energético en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

	Consumo	Ahorro
Iluminación Actual	100,00%	0,00%
Iluminación LED	64,71%	35,29%
Sistema de iluminación inteligente real	24,93%	75,07%

Cuadro 3.11: Ahorro energético en el Laboratorio de mecánica

3.4.2. Análisis económico del sistema

3.4.2.1. Valor de los componentes de sistema de iluminación inteligente

A continuación se presentan los valores detallados de los costos de diseño e implementación de cada uno de los componentes que forman parte del sistema de iluminación inteligente.

	Diseño de Hardware y Software	Componentes electrónicos	Estructura física	Ensamble	TOTAL
Sensor Analógico	\$ 1,50	\$ 1,00	\$ 1,50	\$ 0,50	\$ 4,50
Sensores Digital	\$ 6,00	\$ 8,50	\$ 1,50	\$ 2,00	\$ 18,00
Actuadores	\$ 7,60	\$ 11,70	\$ 1,50	\$ 2,00	\$ 22,80
Sistema de gestión energética	\$ 30,35	\$ 47,70	\$ 8,00	\$ 5,00	\$ 91,05
Panel de control	\$ 22,50	\$ 35,00	\$ 8,00	\$ 2,00	\$ 67,50
Acceso bluetooth	\$ 8,10	\$ 15,20	\$ 0,00	\$ 1,00	\$ 24,30
Acceso Wi-Fi	\$ 18,10	\$ 35,20	\$ 0,00	\$ 1,00	\$ 54,30

Cuadro 3.12: Costo estimado de la fabricación de cada equipo del sistema de iluminación inteligente

3.4.2.2. Análisis económico de la implementación del sistema en los sectores críticos en iluminación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

Para determinar la factibilidad económica del sistema de iluminación inteligente, es necesario comparar los costos de implementación, operación y mantenimiento del sistema de iluminación actual fluorescente versus el sistema de iluminación inteligente led.

Los parámetros de la matemática financiera que servirán para definir la viabilidad del proyecto son, el periodo simple de pago, el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno).

A continuación se detallan las principales características de las luminarias fluorescentes que actualmente posee la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca y las luminarias led con las que se pretende reemplazarlas.

3.4 Análisis de resultados

		Precio	Marca	Vida útil
Sistema de Iluminación Actual	Luminarias fluorescentes	\$ 1,25	SYLVANIA	20000 horas
	Balastos electrónicos	\$ 4,75	SYLVANIA	20000 horas
Sistema de Iluminación Led	luminarias LED 12VDC	\$ 14,35	ERVAN (Genérico)	50000 horas
	fuentes 12V/50W	\$ 24,64	ERVAN	50000 horas

Cuadro 3.13: Principales características de las luminarias fluorescentes y led [10, 3]

3.4.2.2.1 Análisis en la sala de profesores

Sistema de Iluminación Actual			Sistema de Iluminación Led		
	Cantidad	Pecio		Cantidad	Pecio
Luminarias fluorescente	72	\$ 90,00	Luminarias led	72	\$ 1.033,20
Balastos	24	\$ 114,00	Fuentes AC/DC	16	\$ 394,24
Interruptores	2	\$ 3,50	Sensores analógicos	20	\$ 80,00
Metros de cable AWG #18	200	\$ 60,00	Actuadores	14	\$ 254,80
Horas hombre	40	\$ 85,00	Sistema de gestión energética	1	\$ 74,70
			Panel de control	0	\$ 0,00
			Acceso bluetooth	0	\$ 0,00
			Acceso Wi-Fi	0	\$ 0,00
			Metros de cable multipar 4 pares	200	\$ 70,00
			Metros de cable AWG #18	200	\$ 60,00
			Horas hombre	80	\$ 170,00
TOTAL		\$ 352,50	TOTAL		\$ 2.227,69

Cuadro 3.14: Costos de implementación en la sala de profesores

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Vida útil en horas	20000	50000
Vida útil en años	5,68	14,20
Depreciación anual	\$ 62,04	\$ 156,83

Cuadro 3.15: Depreciación en la sala de profesores

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Consumo anual de potencia (kWh)	4308,48	1611,81
Costo anual por consumo de potencia	\$ 642,83	\$ 240,48
Costo anual de mantenimiento	\$ 85,00	\$ 85,00
TOTAL	\$ 727,83	\$ 325,48

Cuadro 3.16: Costos de Operación y Mantenimiento en la sala de profesores

Ahorro anual en operación y mantenimiento	\$ 402,34
Inversión adicional con la nueva tecnología	\$ 1.875,19
Depreciación	\$ 94,79

Cuadro 3.17: Costos adicionales de la implementación del sistema de iluminación en la sala de profesores

Periodo	Movimiento de caja
0	-\$ 1.875,19
1	\$ 402,34
2	\$ 402,34
3	\$ 402,34
4	\$ 402,34
5	\$ 1.803,59

Cuadro 3.18: Movimiento de caja en la sala de profesores

Periodo simple de pago (años)	4,66
Tasa de descuento	7,13%
VAN	\$ 761,79
TIR	18%

Cuadro 3.19: Análisis económico en la sala de profesores

3.4.2.2.2 Análisis en la planta baja de la Biblioteca

Sistema de Iluminación Actual			Sistema de Iluminación Led		
	Cantidad	Pecio		Cantidad	Pecio
Luminarias fluorescente	408	\$ 510,00	Luminarias led	408	\$ 5.854,80
Balastos	136	\$ 646,00	Fuentes AC/DC	90	\$ 2.217,60
Interruptores	8	\$ 14,00	Sensores analógicos	10	\$ 45,00
Metros de cable AWG #18	400	\$ 120,00	Actuadores	75	\$ 1.710,00
Horas hombre	40	\$ 85,00	Sistema de gestión energética	1	\$ 91,05
			Panel de control	1	\$ 67,50
			Acceso bluetooth	0	\$ 0,00
			Acceso Wi-Fi	0	\$ 0,00
			Metros de cable multipar 4 pares	400	\$ 140,00
			Metros de cable AWG #18	400	\$ 120,00
			Horas hombre	80	\$ 170,00
TOTAL		\$ 1.375,00	TOTAL		\$ 10.415,95

Cuadro 3.20: Costos de implementación en la planta baja de la Biblioteca

3.4 Análisis de resultados

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Vida útil en horas	20000	50000
Vida útil en años	5,68	14,20
Depreciación anual	\$ 242,00	\$ 733,28

Cuadro 3.21: Depreciación en la planta baja de la Biblioteca

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Consumo anual de potencia (kWh)	24414,72	5526,15
Costo anual por consumo de potencia	\$ 3.642,68	\$ 824,50
Costo anual de mantenimiento	\$ 85,00	\$ 85,00
TOTAL	\$ 3.727,68	\$ 909,50

Cuadro 3.22: Costos de Operación y Mantenimiento en la planta baja de la Biblioteca

Ahorro anual en operación y mantenimiento	\$ 2.818,17
Inversión adicional con la nueva tecnología	\$ 9.040,95
Depreciación	\$ 491,28

Cuadro 3.23: Costos adicionales de la implementación del sistema de iluminación en la planta baja de la Biblioteca

Periodo	Movimiento de caja
0	-\$ 9.040,95
1	\$ 2.818,17
2	\$ 2.818,17
3	\$ 2.818,17
4	\$ 2.818,17
5	\$ 9.402,71

Cuadro 3.24: Movimiento de caja en la planta baja de la Biblioteca

Periodo simple de pago (años)	3,21
Tasa de descuento	7,13%
VAN	\$ 7.140,28
TIR	28%

Cuadro 3.25: Análisis económico en la planta baja de la Biblioteca

3.4.2.2.3 Análisis en la primera planta alta de la Biblioteca

Sistema de Iluminación Actual			Sistema de Iluminación Led		
	Cantidad	Pecio		Cantidad	Pecio
Luminarias fluorescente	318	\$ 397,50	Luminarias led	318	\$ 4.563,30
Balastos	106	\$ 503,50	Fuentes AC/DC	70	\$ 1.724,80
Interruptores	8	\$ 14,00	Sensores analógicos	10	\$ 45,00
Metros de cable AWG #18	400	\$ 120,00	Actuadores	59	\$ 1.345,20
Horas hombre	40	\$ 85,00	Sistema de gestión energética	1	\$ 91,05
			Panel de control	1	\$ 67,50
			Acceso bluetooth	0	\$ 0,00
			Acceso Wi-Fi	0	\$ 0,00
			Metros de cable multipar 4 pares	400	\$ 140,00
			Metros de cable AWG #18	400	\$ 120,00
			Horas hombre	80	\$ 170,00
TOTAL		\$ 1.120,00	TOTAL		\$ 8.266,85

Cuadro 3.26: Costos de implementación en la primera planta alta de la Biblioteca

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Vida útil en horas	20000	50000
Vida útil en años	5,68	14,20
Depreciación anual	\$ 197,12	\$ 581,99

Cuadro 3.27: Depreciación en la primera planta alta de la Biblioteca

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Consumo anual de potencia (kWh)	19029,12	3618,59
Costo anual por consumo de potencia	\$ 2.839,14	\$ 539,89
Costo anual de mantenimiento	\$ 85,00	\$ 85,00
TOTAL	\$ 2.924,14	\$ 624,89

Cuadro 3.28: Costos de Operación y Mantenimiento en la primera planta alta de la Biblioteca

Ahorro anual en operación y mantenimiento	\$ 2.299,25
Inversión adicional con la nueva tecnología	\$ 7.146,85
Depreciación	\$ 384,87

Cuadro 3.29: Costos adicionales de la implementación del sistema de iluminación en la primera planta alta de la Biblioteca

Periodo	Movimiento de caja
0	-\$ 7.146,85
1	\$ 2.299,25
2	\$ 2.299,25
3	\$ 2.299,25
4	\$ 2.299,25
5	\$ 7.521,77

Cuadro 3.30: Movimiento de caja en la primera planta alta de la Biblioteca

Periodo simple de pago (años)	3,11
Tasa de descuento	7,13%
VAN	\$ 5.948,85
TIR	29%

Cuadro 3.31: Análisis económico en la primera planta alta de la Biblioteca

3.4.2.2.4 Análisis en la segunda planta alta de la Biblioteca

Sistema de Iluminación Actual			Sistema de Iluminación Led		
	Cantidad	Pecio		Cantidad	Pecio
Luminarias fluorescente	324	\$ 405,00	Luminarias led	324	\$ 4.649,40
Balastos	108	\$ 513,00	Fuentes AC/DC	72	\$ 1.774,08
Interruptores	4	\$ 7,00	Sensores analógicos	6	\$ 27,00
Metros de cable AWG #18	400	\$ 120,00	Actuadores	60	\$ 1.368,00
Horas hombre	40	\$ 85,00	Sistema de gestión energética	1	\$ 91,05
			Panel de control	1	\$ 67,50
			Acceso bluetooth	0	\$ 0,00
			Acceso Wi-Fi	0	\$ 0,00
			Metros de cable multipar 4 pares	400	\$ 140,00
			Metros de cable AWG #18	400	\$ 120,00
			Horas hombre	80	\$ 170,00
TOTAL		\$ 1.130,00	TOTAL		\$ 8.407,03

Cuadro 3.32: Costos de implementación en la segunda planta alta de la Biblioteca

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Vida útil en horas	20000	50000
Vida útil en años	5,68	14,20
Depreciación anual	\$ 198,88	\$ 591,85

Cuadro 3.33: Depreciación en la segunda planta alta de la Biblioteca

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Consumo anual de potencia (kWh)	19388,16	3681,36
Costo anual por consumo de potencia	\$ 2.892,71	\$ 549,26
Costo anual de mantenimiento	\$ 85,00	\$ 85,00
TOTAL	\$ 2.977,71	\$ 634,26

Cuadro 3.34: Costos de Operación y Mantenimiento en la segunda planta alta de la Biblioteca

Ahorro anual en operación y mantenimiento	\$ 2.343,45
Inversión adicional con la nueva tecnología	\$ 7.277,03
Depreciación	\$ 392,97

Cuadro 3.35: Costos adicionales de la implementación del sistema de iluminación en la primera planta alta de la Biblioteca

Periodo	Movimiento de caja
0	-\$ 7.277,03
1	\$ 2.343,45
2	\$ 2.343,45
3	\$ 2.343,45
4	\$ 2.343,45
5	\$ 7.655,61

Cuadro 3.36: Movimiento de caja en la segunda planta alta de la Biblioteca

Periodo simple de pago (años)	3,11
Tasa de descuento	7,13%
VAN	\$ 6.062,81
TIR	29%

Cuadro 3.37: Análisis económico en la segunda planta alta de la Biblioteca

3.4.2.2.5 Análisis en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

Sistema de Iluminación Actual			Sistema de Iluminación Led		
	Cantidad	Pecio		Cantidad	Pecio
Luminarias fluorescente	36	\$ 45,00	Luminarias led	36	\$ 516,60
Balastos	12	\$ 57,00	Fuentes AC/DC	8	\$ 197,12
Interruptores	1	\$ 1,75	Sensores analógicos	2	\$ 9,00
Metros de cable AWG #18	30	\$ 9,00	Actuadores	7	\$ 159,60
Horas hombre	8	\$ 17,00	Sistema de gestión energética	1	\$ 91,05
			Panel de control	0	\$ 0,00
			Acceso bluetooth	0	\$ 0,00
			Acceso Wi-Fi	0	\$ 0,00
			Metros de cable multipar 4 pares	30	\$ 10,50
			Metros de cable AWG #18	30	\$ 9,00
			Horas hombre	16	\$ 34,00
TOTAL		\$ 129,75	TOTAL		\$ 1.026,87

Cuadro 3.38: Costos de implementación en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Vida útil en horas	20000	50000
Vida útil en años	5,68	14,20
Depreciación anual	\$ 22,84	\$ 72,29

Cuadro 3.39: Depreciación en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Consumo anual de potencia (kWh)	2154,24	829,89
Costo anual por consumo de potencia	\$ 321,41	\$ 123,82
Costo anual de mantenimiento	\$ 17,00	\$ 17,00
TOTAL	\$ 338,41	\$ 140,82

Cuadro 3.40: Costos de Operación y Mantenimiento en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

Ahorro anual en operación y mantenimiento	\$ 197,59
Inversión adicional con la nueva tecnología	\$ 897,12
Depreciación	\$ 49,46

Cuadro 3.41: Costos adicionales de la implementación del sistema de iluminación en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

Periodo	Movimiento de caja
0	-\$ 897,12
1	\$ 197,59
2	\$ 197,59
3	\$ 197,59
4	\$ 197,59
5	\$ 847,43

Cuadro 3.42: Movimiento de caja en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

Periodo simple de pago (años)	4,54
Tasa de descuento	7,13%
VAN	\$ 370,76
TIR	18%

Cuadro 3.43: Análisis económico en el Laboratorio de eléctrica – electrónica

3.4.2.2.6 Análisis en el Laboratorio de mecánica

Sistema de Iluminación Actual			Sistema de Iluminación Led		
	Cantidad	Pecio		Cantidad	Pecio
Luminarias fluorescente	18	\$ 22,50	Luminarias led	18	\$ 258,30
Balastos	6	\$ 28,50	Fuentes AC/DC	4	\$ 98,56
Interruptores	1	\$ 1,75	Sensores analógicos	2	\$ 9,00
Metros de cable AWG #18	20	\$ 6,00	Actuadores	4	\$ 91,20
Horas hombre	8	\$ 17,00	Sistema de gestión energética	1	\$ 91,05
			Panel de control	0	\$ 0,00
			Acceso bluetooth	0	\$ 0,00
			Acceso Wi-Fi	0	\$ 0,00
			Metros de cable multipar 4 pares	20	\$ 7,00
			Metros de cable AWG #18	20	\$ 6,00
			Horas hombre	16	\$ 34,00
TOTAL		\$ 75,75	TOTAL		\$ 595,11

Cuadro 3.44: Costos de implementación en el Laboratorio de mecánica

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Vida útil en horas	20000	50000
Vida útil en años	5,68	14,20
Depreciación anual	\$ 13,33	\$ 41,90

Cuadro 3.45: Depreciación en el Laboratorio de mecánica

3.4 Análisis de resultados

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Consumo anual de potencia (kWh)	1077,12	268,56
Costo anual por consumo de potencia	\$ 160,71	\$ 40,07
Costo anual de mantenimiento	\$ 17,00	\$ 17,00
TOTAL	\$ 177,71	\$ 57,07

Cuadro 3.46: Costos de Operación y Mantenimiento en el Laboratorio de mecánica

Ahorro anual en operación y mantenimiento	\$ 120,64
Inversión adicional con la nueva tecnología	\$ 519,36
Depreciación	\$ 28,56

Cuadro 3.47: Costos adicionales de la implementación del sistema de iluminación en el Laboratorio de mecánica

Periodo	Movimiento de caja
0	-\$ 519,36
1	\$ 120,64
2	\$ 120,64
3	\$ 120,64
4	\$ 120,64
5	\$ 497,18

Cuadro 3.48: Movimiento de caja en el Laboratorio de mecánica

Periodo simple de pago (años)	4,31
Tasa de descuento	7,13%
VAN	\$ 240,40
TIR	19%

Cuadro 3.49: Análisis económico en el Laboratorio de mecánica

3.4.2.2.7 Resumen del ahorro para toda la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

	Costo anual por consumo de potencia (Fluorescente)	Costo anual por consumo de potencia (Led)	Ahorro anual en operación y mantenimiento	Inversión adicional con la nueva tecnología
Sala de profesores	\$ 642,83	\$ 240,48	\$ 402,34	\$ 1.875,19
Planta baja de la Biblioteca	\$ 3.642,68	\$ 824,50	\$ 2.818,17	\$ 9.040,95
Primera planta alta de la Biblioteca	\$ 2.839,14	\$ 539,89	\$ 2.299,25	\$ 7.146,85
Segunda planta alta de la Biblioteca	\$ 2.892,71	\$ 549,26	\$ 2.343,45	\$ 7.277,03
Laboratorio de eléctrica – electrónica	\$ 321,41	\$ 123,82	\$ 197,59	\$ 897,12
Laboratorio de mecánica	\$ 160,71	\$ 40,07	\$ 120,64	\$ 519,36
TOTAL	\$ 10.499,48	\$ 2.318,02	\$ 8.181,45	\$ 26.756,50

Cuadro 3.50: Sumatoria de los costos, de los ambientes estudiados en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

	Periodo simple de pago (años)	Tasa de descuento	VAN	TIR
Sala de profesores	4,66	7,13%	\$ 761,79	17,92%
Planta baja de la Biblioteca	3,21	7,13%	\$ 7.140,28	28,05%
Primera planta alta de la Biblioteca	3,11	7,13%	\$ 5.948,85	29,14%
Segunda planta alta de la Biblioteca	3,11	7,13%	\$ 6.062,81	29,17%
Laboratorio de eléctrica – electrónica	4,54	7,13%	\$ 370,76	18,19%
Laboratorio de mecánica	4,31	7,13%	\$ 240,40	19,50%
PROMEDIO	3,82	7,13%	\$ 3.420,82	23,66%

Cuadro 3.51: Parámetros económicos de los ambientes estudiados en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

A partir de los indicadores económicos obtenidos como, el periodo simple de pago, el VAN y el TIR se llega a la conclusión de que la inversión en este proyecto es viable, por lo que trae beneficios económicos para toda la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca a mediano plazo.

3.4.2.2.8 Proyección económica para la implementación del sistema de iluminación inteligente para toda la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

A continuación se realiza una proyección de la inversión y el costo de implementación del sistema de iluminación inteligente para toda la UPS-Cuenca para estudiar la factibilidad en los ambientes críticos y no críticos en iluminación.

Según el CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad) en su plan maestro de electrificación 2012-2021 presenta los porcentajes de uso de la energía eléctrica en la industria ubicada en la sierra Ecuatoriana, este porcentaje no es exacto pero puede

tomarse como una aproximación cercana a la realidad del consumo eléctrico actual en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

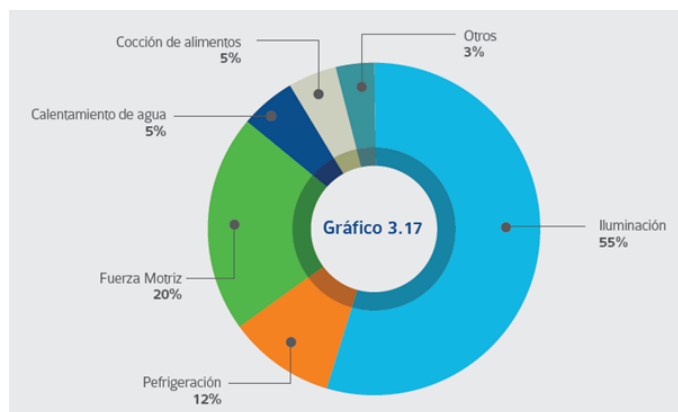


Figura 3.72: Usos finales de la energía eléctrica (REGIÓN SIERRA) [31]

La CENTROSUR provee los datos del consumo de potencia mensual de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca:

Mes/Año	kWh
Octubre-2013	11237
Noviembre-2013	15349
Diciembre-2013	14403
Enero-2014	11878
Febrero-2014	15007
Marzo-2014	10773
Abril-2014	9875
Mayo-2014	14449
Junio-2014	16145
Julio-2014	16138
Agosto-2014	17288
Septiembre-2014	10103
TOTAL	162645

Cuadro 3.52: Potencia mensual de la UPS-Cuenca

Según el porcentaje de potencia empleado en iluminación y los datos del consumo de potencia mensual, se determina la potencia anual empleada en iluminación por la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

Potencia total consumida durante un año	162645 kWh
Porcentaje de potencia empleado en iluminación	55%
Potencia en iluminación consumida durante un año	89454,75 kWh

Cuadro 3.53: Potencia anual en iluminación de la UPS-Cuenca

Determinando la potencia en iluminación consumida durante un año y un estimado del número de luminarias fluorescentes que se encuentran en la UPS-Cuenca, se realiza un estudio económico para determinar los parámetros de la matemática financiera que nos servirán para definir la factibilidad del proyecto.

Sistema de Iluminación Actual			Sistema de Iluminación Led		
	Cantidad	Pecio		Cantidad	Pecio
Luminarias fluorescente	2568	\$ 3.210,00	Luminarias led	2568	\$ 36.850,80
Balastos	856	\$ 4.066,00	Fuentes AC/DC	565	\$ 13.921,60
Interruptores	120	\$ 210,00	Sensores analógicos	150	\$ 675,00
Metros de cable AWG #18	4000	\$ 1.200,00	Actuadores	471	\$ 10.738,80
Horas hombre	800	\$ 1.700,00	Sistema de gestión energética	20	\$ 1.821,00
			Panel de control	5	\$ 337,50
			Acceso bluetooth	0	\$ 0,00
			Acceso Wi-Fi	20	\$ 1.086,00
			Metros de cable multipar 4 pares	4000	\$ 1.400,00
			Metros de cable AWG #18	4000	\$ 1.200,00
			Horas hombre	1600	\$ 3.400,00
TOTAL		\$ 10.386,00	TOTAL		\$ 71.430,70

Cuadro 3.54: Costos de implementación en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Vida útil en horas	20000	50000
Vida útil en años	5,68	14,20
Depreciación anual	\$ 1.827,94	\$ 5.028,72

Cuadro 3.55: Depreciación en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

	Sistema de Iluminación Actual	Sistema de Iluminación Led
Consumo anual de potencia (kWh)	89454,75	24152,78
Costo anual por consumo de potencia	\$ 13.328,76	\$ 3.598,76
Costo anual de mantenimiento	\$ 1.700,00	\$ 1.700,00
TOTAL	\$ 15.028,76	\$ 5.298,76

Cuadro 3.56: Costos de Operación y Mantenimiento en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

Ahorro anual en operación y mantenimiento	\$ 9.729,99
Inversión adicional con la nueva tecnología	\$ 61.044,70
Depreciación	\$ 3.200,79

Cuadro 3.57: Costos adicionales de la implementación del sistema de iluminación en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

Periodo	Movimiento de caja
0	-\$ 61.044,70
1	\$ 9.729,99
2	\$ 9.729,99
3	\$ 9.729,99
4	\$ 9.729,99
5	\$ 54.770,77

Cuadro 3.58: Movimiento de caja en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

Periodo simple de pago (años)	6,27
Tasa de descuento	7,13%
VAN	\$ 10.630,79
TIR	11,80%

Cuadro 3.59: Análisis económico en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

A partir de los indicadores económicos obtenidos como, el periodo simple de pago, el VAN y el TIR se llega a la conclusión de que la inversión para implantar el sistema de iluminación inteligente en toda la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca no presenta una significativa ventaja económica, debido a que la implantación en los ambiente no críticos en iluminación presenta un alto costo de implementación y un bajo rebito económico en ahorro de energía debido a que no son utilizados de manera frecuente alargando el tiempo de recuperación de la inversión.

Sin embargo en sectores críticos de la UPS-Cuenca como laboratorios, la biblioteca, en donde existen un uso permanente de la potencia de luminarias, también existe iluminación natural; el estudio muestra tasas del VAN y el TIR interesantes, que benefician en un porcentaje de ahorro económico para el campus universitario.

3.4.2.2.9 Otros beneficios de la implantación del sistema de iluminación inteligente en los sectores críticos en iluminación en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

- Beneficio Energético

En Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca según el CONELEC el porcentaje de potencia eléctrica empleada en iluminación es de alrededor del 55 % y el porcentaje promedio de ahorro en iluminación que el sistema de iluminación inteligente permite economizar es del 73 %, por lo tanto se estima un ahorro del 40.15 % de la potencia total consumida por la UPS-Cuenca.

Potencia total consumida durante un año	162645 kWh
Potencia empleada en iluminación	89454,75 kWh
Potencia empleada con el sistema de iluminación inteligente	24152,78 kWh
Potencia ahorrada con el sistema de iluminación inteligente	65301,96 kWh

Cuadro 3.60: Beneficio energético en la potencia para la UPS-Cuenca

- Benéfico Ambiental

Al realizar la implantación de este proyecto se obtienen beneficios ambientales debido a que:

Las luminarias led al terminar su vida útil no presentan residuos peligrosos para el medio ambiente o las personas, por lo contrario las luminarias fluorescentes contiene en su interior mercurio, plomo, antimonio, y bario que generan problemas en los riñones, hígado, estomago, intestinos, pulmones y extrema sensibilidad al sistema nervioso. Además de que los microorganismos convierten el mercurio inorgánico en metilmercurio, que es bioacumulable y que se absorbe fácilmente en el tracto gastrointestinal humano. [16]

Además se obtiene una reducción de las emisiones de dióxido de carbono al ambiente

CO2 por kWh	0,0005669 T CO2/kWh
Toneladas de CO2 no emitidas durante un año	37,01 T CO2

Cuadro 3.61: Ahorro de toneladas de CO2 con el sistema de iluminación inteligente[15]

Costo de la tonelada de CO2	\$ 8,3524
Costo total de las tonelada de CO2 no emitidas	\$ 309,12

Cuadro 3.62: Ahorro económico de toneladas de co2 con el sistema de iluminación inteligente [28]

3.4.2.3. Comparación del sistema de iluminación inteligente versus sistemas domóticos actuales

En el mercado existen sistemas domóticos que son capaces de realizar las mismas funciones que el diseñado en este proyecto, pero a costos muy elevados, a continuación se presenta la comparación del sistema planteado con otros.

En el mercado local una de las empresas especializadas en domótica es SODEL que provee equipos de la marca HDL.

En el mercado internacional, España e Italia son países pioneros en Smart lighting y domótica, se realizó la comparación con la marca italiana RELCO.

3.4 Análisis de resultados

	Sistema de iluminación inteligente diseñado en este proyecto	Equipos HDL	Equipos RELCO
Dimerización	Si	Si	Si
Temporizadores	No	Si	Si
Control de dimerización en base a la iluminación natural	Si	Si	Si
Control de luminarias por áreas	Si	Si	Si
Acceso mediante interfaz grafica	Si	Si	Si
Programación	Basada en C	Basada en C	Basada en C
Comunicación	Serial RS-485	KNX-EIB-BUS	Ethernet
Potencia de los actuadores	60W	49W	18W

Cuadro 3.63: Comparación del sistema de iluminación inteligente con equipos domóticos

A continuación se presenta la comparación económica de los equipos necesarios para realizar el control de iluminación en un ambiente de trabajo en donde se requiere, una central, un sensor de luz y los actuadores necesarios para manejar una habitación de cuatro luminarias.

	Sistema de iluminación inteligente diseñado en este proyecto	Equipos HDL	Equipos RELCO
Central	\$ 91,05	\$ 1.500,00	\$ 381,30
Sensores	\$ 4,50	\$ 72,50	\$ 23,15
Actuadores dimmer	\$ 22,80	\$ 50,00	\$ 78,00
TOTAL	\$ 118,35	\$ 1.622,50	\$ 482,45

Cuadro 3.64: Comparación economía del sistema de iluminación inteligente con equipos domóticos

4 Conclusiones y Recomendaciones

Luego de finalizar el proyecto acerca del diseño de un sistema de optimización de energía eléctrica para iluminación en sectores críticos de la UPS-Cuenca, se adquirieron nuevos conocimientos, los cuales fueron aplicados y como resultado los objetivos propuestos se alcanzaron, logrando proponer un sistema eficiente en iluminación que pueda ser implementado tanto en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, como también en cualquier ambiente que posea las condiciones para la instalación del sistema. Se ha desarrollado algunas conclusiones y recomendaciones que se espera sirvan de referencia para futuros trabajos.

4.1. Conclusiones generales

- Las luminarias led en cuanto a su vida útil y eficiencia energética presentan grandes ventajas frente a las lámparas fluorescentes e incandescentes, pero lamentablemente su alto costo por el momento limita su comercialización a gran escala.
- Las luminarias fluorescentes lideran el mercado local, debido a su bajo costo y una aceptable eficiencia, a pesar de que presentan un riesgo de contaminación ambiental debido a los metales pesados que se encuentran en su interior.
- De la iluminación inteligente se concluye; que brinda el confort visual que el usuario requiere, además ofrece la facilidad de interacción con el consumidor, proporcionando ambientes cómodos tanto para el hogar como para la industria.
- En comparación a las normas estudiadas en este proyecto (Española, Ecuatoriana y Argentina), se determina que la normativa española presenta más detalles en cuanto al nivel de iluminación según el ambiente y la actividad que se desempeña, ya que este país es pionero en estudios de iluminación eficiente.
- La Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca según las mediciones de nivel de iluminación promedio, logra cumplir a cabalidad con la norma ecuatoriana pero durante las noches, que es el punto crítico en iluminación presenta valores menores a la que la normativa sugiere, a pesar de ello no existe inconformidad de los usuarios.
- Al realizar la comparación de los índices de eficiencia energética entre la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca y la Universidad Autónoma de

México, se observa que nuestra universidad cumple de mejor manera los niveles de iluminación requeridos por la norma.

- En la comparación de índices de eficiencia energética de los ambientes de la UPS-Cuenca, se analiza que la sala de profesores es el menos eficiente debido a la mala disposición de las instalaciones eléctricas, mientras que la biblioteca cumple con todas las prestaciones de iluminación eficiente según como indica la norma analizada.
- Al realizar el estudio de la potencia consumida en iluminación y el cambio de las lámparas fluorescentes con lámparas led, se evidencia una reducción significativa de la potencia consumida de alrededor del 35 %.
- Al efectuar el análisis de la reducción del consumo de potencia eléctrica mediante el control de la dimerización de las luminarias led según los niveles de iluminación natural, se puede reducir en un 73 % el consumo total de potencia.
- Al realizar el estudio económico de la implantación del sistema en los sectores críticos en iluminación se demostró que el proyecto es viable y presenta ventajas económicas, energéticas y ambientales.
- Al realizar el estudio económico de la implantación del sistema en toda la UPS-Cuenca se determina que la propuesta no presenta significativas ventajas económicas, debido a que existen ambientes en los que se genera un alto costo de implementación y un bajo ingreso económico en ahorro de energía debido a que no son utilizados de manera frecuente alargando el tiempo de recuperación de la inversión; sin embargo en los sectores críticos como laboratorios, la biblioteca, en donde existen un uso permanente de la potencia de luminarias, también existe iluminación natural; el estudio muestra tasas del VAN y el TIR interesantes, que benefician en un porcentaje de ahorro económico para el campus universitario.

4.2. Conclusiones del estudio de iluminación

- Del estudio de los sectores críticos en iluminación realizado en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca se llega a concluir que los niveles de iluminación cumplen la normativa de iluminación ecuatoriana, evidencia de ello es que no existe ningún problema de fatiga visual por el déficit lumínico presentado por los usuarios de los distintos ambientes de la universidad.
- La iluminación además de cumplir con la normativa ecuatoriana y llegar a porcentajes cercanos a las recomendaciones argentinas o españolas, presenta una distribución uniforme, como se puede constatar en la biblioteca en donde no existen áreas sin uso ocasionado por el déficit lumínico.
- En cuanto a las normas de iluminación, las normativas argentina y española poseen un mayor énfasis en el estudio de los niveles óptimos de iluminación y

presentan su recomendación según la actividad específica que desempeñara el usuario, al contrario de la normativa ecuatoriana que es muy general y requiere una actualización, debido a que esta corresponde desde el año de 1998.

4.3. Conclusiones de la eficiencia energética

- En la sala de profesores existe una baja eficiencia energética debido a la mala distribución de las instalaciones eléctricas, ya que existe tres controles para encender o apagar todas las 17 oficinas a la vez sin importar el número de docentes que se encuentren en el lugar.
- En la biblioteca y los laboratorios de eléctrica, electrónica y mecánica las luminarias permanecen encendidas todo el día sin importar el nivel de iluminación que aporte la luz natural, en los escritorios o bancos de trabajo cercanos a las ventanas la luz natural es capaz de brindar el nivel de iluminación que la norma ecuatoriana recomienda en aproximadamente el 70 % del día laborable.

4.4. Conclusiones del sistema de iluminación inteligente

- El sistema de iluminación inteligente es capaz de interactuar con la luz natural que ingresa al ambiente de trabajo para disminuir el consumo de las luminarias, en pruebas se determinó que es capaz de ahorrar alrededor del 73 % de la energía eléctrica empleada en iluminación.
- El sistema de iluminación inteligente es capaz de competir con los sistemas de Smart- lighting que ofrece el mercado a un costo mucho menor y proveyendo los mismos servicios.

4.5. Recomendaciones generales

- El sistema inteligente de iluminación puede ser mejorado para cumplir otras prestaciones en el campo de la domótica.
- Debería existir un mejor control ambiental al momento de manipular los residuos de las lámparas fluorescentes ya que son contaminantes tanto para el ambiente, como para las personas.
- Convendría ampliar el estudio para definir todos los sectores que utilizan un mayor tiempo de energía y también los que presentan mayor acceso de luz natural, ya que estos son económicamente más rentables al momento de realizar la implementación del sistema diseñado.

4.6. Recomendaciones sobre la construcción civil de los ambientes

- Al cuantificar el ahorro energético que la luz natural puede aportar a la iluminación de los ambientes de trabajo, se recomienda que las futuras edificaciones cuenten con ventanas que ayuden a aprovechar de la mejor manera este recurso natural sin afectar el confort de los usuarios del ambiente.

4.7. Recomendaciones sobre el sistema de iluminación inteligente

- El sistema de iluminación inteligente cumple a cabalidad con los objetivos plantados en este proyecto, sin embargo a continuación se plantean posibles avances que mejoraran la eficiencia del sistema:
 - Implementar la comunicación del sistema utilizando el protocolo domótico ZIG-BEE el cual funciona de manera inalámbrica y permite tener una mayor cantidad de actuadores y sensores.
 - Estudiar otros tipos de algoritmos y sistemas de control que permitan mejorar aún más la respuesta del sistema actual.
 - Ampliar las capacidades del sistema de iluminación inteligente hacia la domótica, para que sea capaz de administrar servicios como gestión energética, seguridad y confort.
 - Estudiar los usos finales de la energía eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, para determinar las principales áreas de investigación para aumentar la eficiencia energética.

Bibliografía

- [1] Comparativo entre lámparas fluorescentes y led. URL <http://www.lumika.com.mx/files/Comparativo%20entre%20lamparas.pdf>.
- [2] Energía, focos ahorradores. URL <http://www.voltech.com.mx/focos.php>.
- [3] Ervan. URL <http://www.ervan.com.cn>.
- [4] Alumbrado público inteligente: Spectrum power street lighting. URL https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/energy/distribucion/Documents/alum_publico.pdf.
- [5] Lámparas y sus componentes. URL http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/InstalacionesIndustriales/Art_Interes/LampComp.pdf.
- [6] Casas inteligentes: iluminar desde el celular. URL <http://archivo.losandes.com.ar/notas/2013/9/14/casas-inteligentes-iluminar-regar-desde-celular-738171.asp>.
- [7] Criterios de iluminación para diversas clases de tarea visual, . URL http://www.artelum.com.ar/datosutiles_crite.asp.
- [8] Higiene industrial ambiente, . URL <http://www.higieneindustrialyambiente.com>.
- [9] Sunearthtools. URL http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php.
- [10] Sylvania. URL <http://www.sylvaniacolombia.com>.
- [11] Tendencias de la ingeniería. URL http://www.tendencias21.net/Nuevo-sistema-inteligente-de-iluminacion-LED_a4235.html.
- [12] Victor M. Alfaro. Identificación de procesos sobreamortiguados utilizando técnicas de lazo abierto. pages 11–23, 2001t.
- [13] Eduardo Alfredo Medrano Arias. Rediseño e implementación de un sistema de iluminación para espacios publicitarios usando led rgb, 2010.
- [14] Escobedo Izquierdo Manuela Azucena. Análisis y modelación del consumo de energía eléctrica en edificios universitarios con base a usos finales y parámetros arquitectónicos: Caso unam-cu. Master's thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Junio 2009.
- [15] Corporación Centro Nacional de Control de Energía. Factor de emisión de co2 del sistema nacional interconectado del ecuador al año 2011. *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*, pages 16–17.

-
- [16] Comisión Nacional del Medio Ambiente-Chile. Tubos fluorescentes. pages 1–2, 2006.
- [17] Gas Natural Fenosa. Iluminación inteligente. 2012.
- [18] Fang-Yie Leu Fenq-Lin Jenq, Tang-Jen Liu. An ac led smart lighting system with visible light time-division multiplexing free space optical communication. *IEEE*, pages 1–3, 2011.
- [19] Yanzhe Li Huiqin Wang Hui Ren, Lifei Yang. Research and implementation of the portable led stage lighting control system. *IEEE*, pages 1–3, 2012.
- [20] ledia group. Iluminación eficiente. 2013.
- [21] Luigi Martirano. A smart lighting control to save energy. *IEEE*, pages 1–5, Septiembre 2011.
- [22] Mcgraw-Hill. Luminotécnica. dispositivos para alumbrado incandescente y fluorescente.
- [23] Chuquin Vasco Nelson Santiago; Márquez Sa nay Fernando Ricardo. Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente (zelio), 2011.
- [24] Blanca Giménez Vicente; Castilla Cabanes Nuria. Luminotecnia: Magnitudes fotométricas básicas. unidades de medida. pages 3–9.
- [25] Carvajal García Fredy Armando; Portilla Pozo Washington Pablo. Diseño y montaje de un tablero didáctico de lámparas de alumbrado público equipado con sistemas de protección y medición, 2010.
- [26] Mario Raitelli. Diseño de la iluminación de interiores.
- [27] Julio San Millán Rodrigo. Guía para la realización de medidas de niveles de iluminación. pages 15–44.
- [28] SENDECO2. Sistema electrónico de negociación de emisión de dióxido de carbono.
- [29] J.A TABOADA. *Manual de Luminotecnia*. Number 8423704440. OSRAM.
- [30] Fabienne W TRIDONIC. luxcontrol sistemas de gestión de la iluminación.
- [31] Dr. Esteban Albornoz Vintimilla y Dr. Francisco Vergara Ortiz. Plan maestro de electrificación 2012-2021. *CONLEC*, pages 75–76.
- [32] Masato YOSHIMI Yoshihiro KASAHARA, Mitsunori MIKI. Preliminary evaluation of the intelligent lighting system with distributed control modules. *IEEE*, pages 1–6, 2011.