

**“ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA  
DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA ELÉCTRICA UPS”**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Tesis previa a la obtención del título de:  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
“ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA  
DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA ELÉCTRICA UPS”**

**AUTOR:  
JOSÉ LUIS PALACIOS CARRERA**

**DIRECTOR:  
DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA**

**Quito, Julio de 2014**



*04-08 2014*



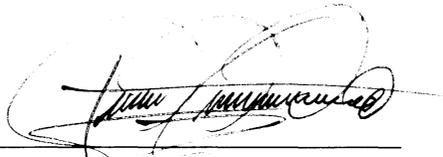
**- 4 AGO. 2014**

**DECLARATORIA DE AUTORÍA:**

Yo, José Luis Palacios Carrera autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 09 de Julio del 2014



---

**José Luis Palacios Carrera**  
**CC: 1714883020**

**AUTOR**

**CERTIFICA:**

Yo, Ing. Diego Francisco Carrión Galarza certifico haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y financieros del informe de la monografía, así como el funcionamiento del “Estudio para el Mejoramiento de la Eficiencia Energética de los Laboratorios de Ingeniería Eléctrica UPS Kennedy” realizada por el Sr. José Luis Palacios Carrera, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 09 de Julio del 2014

---

**Ing. Diego Francisco Carrión Galarza**  
**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA.**

*José Luis Palacios Carrera*

*A Dios quien inspiró mi espíritu y lleno de fuerzas para la conclusión de esta tesis.*

*Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera culminar mis estudios superiores, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.*

*Mi familia.*

*Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño ésta tesis se las dedico a ustedes:*

*Compañeros de pupitre.*

*Camaradas de trabajo.*

*Y, a todas esas personas que Dios puso en mi camino, amigos y amigas del alma.*

## **AGRADECIMIENTO.**

*José Luis Palacios Carrera*

*Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. Diego Francisco Carrión Galarza por aceptar ser mi tutor. Su apoyo, confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas han sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de ésta tesis, sino también en mi formación como investigador.*

*A la Universidad Politécnica Salesiana y en especial a la Carrera de Ingeniería Eléctrica por su apoyo para facilitar el desarrollo de éste proyecto de tesis.*

## ÍNDICE GENERAL

TABLA DE CONTENIDO	Pg.
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
Normativas y herramientas técnicas .....	2
1.1 Normativas .....	2
1.1.1 Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10. ....	2
1.1.2 Norma UNE-EN 12464-1.....	3
1.1.2.1 Criterios de diseño de iluminación.....	3
1.1.3 Estándar IEEE 802.15.4 .....	5
1.1.3.1. Generalidades .....	5
1.1.3.2. Topología .....	6
1.2. Equipos de medición .....	6
1.2.1 Analizador de calidad de la energía.....	7
1.2.2 Luxómetro.....	7
1.3. Sistemas de control y comunicación para Smart Home y Smart Building .....	7
1.3.1 Protocolos de comunicación .....	8
1.3.1.1 Estándares propietarios o cerrados .....	8
1.3.1.2 Estándares definidos o abiertos .....	8
1.3.2 Comunicación inalámbrica .....	9
1.3.2.1 Infrarrojos .....	9
1.3.2.2 Radiofrecuencias .....	9
1.3.2.3 Ultrasonido.....	10
1.3.3 ZigBee.....	10
1.3.4 Z-Wave .....	11

1.4	Estado del arte respecto a eficiencia energética aplicada a hogares y edificio	13
1.4.1	Certificación LEED	13
1.4.1.1	Sitio sustentable	14
1.4.1.2	Ahorro del agua	14
1.4.1.3	Energía y atmosfera	14
1.4.1.4	Materiales y recursos	15
1.4.1.5	Calidad ambiental de los interiores	15
1.4.1.6	Innovación en el diseño	15
1.4.2	Certificación VERDE	16
1.4.2.1	Selección del sitio, proyecto de emplazamiento y planificación	16
1.4.2.2	Energía y atmósfera	17
1.4.2.3	Recursos naturales	17
1.4.2.4	Calidad del espacio interior	17
1.4.2.5	Calidad del servicio	17
1.4.2.6	Impacto socio económico	18
1.4.3	Certificado de etiqueta eficiencia energética de edificios y residencial.	19
1.5	Luminarias	19
1.5.1	Luminarias incandescentes	20
1.5.2	Luminarias fluorescentes	21
1.5.2.1	Lámparas fluorescentes tubulares	21
1.5.2.2	Lámparas fluorescentes compactas	22
1.5.3	Luminarias de tipo LED	23
1.5.4	Análisis de la tecnología de las luminarias	23
CAPÍTULO II		24
Auditoria energética de los laboratorios		24
2.1	Medición de consumo energético actual	24
2.1.1	Tensión	25

2.1.2	Corriente.....	25
2.1.3	Potencia activa.....	25
2.2	Medición de niveles de luminosidad en los laboratorios.....	26
2.3	Análisis del sistema de control de iluminación.....	32
2.3.1	La unidad de control.....	33
2.3.2	Los sensores.....	33
2.3.3	Actuadores.....	34
2.4	Levantamiento de planos eléctricos de los laboratorios.....	34
CAPÍTULO III.....		36
Análisis y rediseño de los sistemas.....		36
3.1	Rediseño de los sistemas eléctricos de los laboratorios.....	36
3.1.1	Análisis del proyecto.....	36
3.1.2	Planificación básica.....	37
3.1.3	Diseño detallado.....	37
3.1.3.1	Sistema de iluminación:.....	37
3.1.3.2	Materiales y disposiciones para la construcción:.....	39
3.1.3.2.1	Tuberías y canaletas.....	39
3.1.3.2.2	Conductores.....	40
3.1.3.2.3	Luminarias.....	41
3.1.4	Asistencia técnica.....	41
3.1.5	Evaluación posterior.....	42
3.2	Simulación de software DiaLux.....	42
3.3	Análisis comparativo de luminosidad de las actuales instalaciones con el rediseño.....	45
3.4	Diseño del sistema de control utilizando comunicación inalámbrica.....	51
CAPÍTULO IV.....		55
Análisis de resultados.....		55

4.1	Análisis del consumo energético .....	55
4.2	Proyección de consumo energético.....	56
4.3	Análisis técnico económico.....	57
4.3.1	Conceptos.....	58
4.3.2	Presupuesto .....	59
4.3.3	Costo de ciclo de vida.....	60
4.4	Identificación de impacto ambiental .....	63
4.4.1	Calculo de ahorro de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	63
4.4.2	Contaminantes en luminarias .....	64
	Conclusiones.....	66
	Recomendaciones .....	68
	Referencias .....	69
	Anexos.....	71

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Pg.</b>
<b>Figura 1.1</b> Criterios de diseño de iluminación.....	4
<b>Figura 1.2</b> a) Topología estrella, b) Topología punto por punto.....	6
<b>Figura 1.3</b> Estructura ZigBee.....	11
<b>Figura 1.4</b> Categorías de créditos LEED.....	14
<b>Figura 1.5</b> Niveles de certificación LEED.....	16
<b>Figura 1.6</b> Niveles de certificación.....	18
<b>Figura 1.7</b> Etiqueta de eficiencia Energética.....	19
<b>Figura 1.8</b> Partes de una luminaria incandescente.....	21
<b>Figura 1.9</b> Partes de una luminaria fluorescente tubular.....	22
<b>Figura 2.1</b> Método para realizar la medición de los niveles de iluminación.....	27
<b>Figura 2.2</b> Niveles de luminosidad Máquinas Eléctricas, Control y Monitoreo, Microbótica.....	28
<b>Figura 2.3</b> Niveles de luminosidad Alta Tensión, Sistemas Electrónicos, Investigación y Proyectos.....	29
<b>Figura 2.4</b> Niveles de luminosidad Control y Procesos, Automatización y Comunicación, Circuitos Eléctricos.....	30
<b>Figura 2.5</b> Niveles de luminosidad Electromagnetismo, Instalaciones Civiles, Instalaciones Industriales.....	31
<b>Figura 2.6</b> Niveles de luminosidad Instrumentación, Pasillos.....	32
<b>Figura 2.7</b> Tipos de sensores.....	34
<b>Figura 2.8</b> Componentes de un plano eléctrico residencial.....	35
<b>Figura 3.1</b> Proceso de diseño de iluminación.....	36
<b>Figura 3.2</b> Proceso del modelamiento en 3D.....	42
<b>Figura 3.3</b> Representación en 3D de los laboratorios de Microbótica e Investigación y Proyectos.....	43
<b>Figura 3.4</b> Representación en colores falsos de los laboratorios de Microbótica e Investigación y Proyectos.....	43
<b>Figura 3.5</b> Resultados luminotécnicos/isolneas del laboratorio de Microbótica.....	44
<b>Figura 3.6</b> Resultados luminotécnicos/isolneas del laboratorio de Investigación y Proyectos.....	45

<b>Figura 3.7</b>	Representación actual en colores falsos del laboratorio de Control y Procesos.....	47
<b>Figura 3.8</b>	Resultados actual luminotécnicos/isolíneas del laboratorio de Control y Procesos.....	47
<b>Figura 3.9</b>	Representación proyectada en colores falsos del laboratorio de Control y Procesos.....	48
<b>Figura 3.10</b>	Resultados proyectado luminotécnicos/isolíneas del laboratorio de Control y Procesos.....	48
<b>Figura 3.11</b>	Representación actual en colores falsos del laboratorio de Electromagnetismo.....	49
<b>Figura 3.12</b>	Resultados actual luminotécnicos/isolíneas del laboratorio de Electromagnetismo.....	49
<b>Figura 3.13</b>	Representación proyectada en colores falsos del laboratorio de Electromagnetismo.....	50
<b>Figura 3.14</b>	Resultados proyectados luminotécnicos/isolíneas del laboratorio de Electromagnetismo.....	50
<b>Figura 3.15</b>	Análisis comparativo del flujo luminoso medio.....	51
<b>Figura 3.16</b>	Topología de Z-Wave.....	52
<b>Figura 3.17</b>	VeraLite controlador maestro Z-Wave.....	53
<b>Figura 3.18</b>	Distribución de señales inalámbricas Z-Wave.....	54
<b>Figura 4.1</b>	Resultados del estudio de costo ciclo de vida.....	62
<b>Figura 4.2</b>	Proceso de reciclaje de tubos fluorescentes.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Pg.

<b>Tabla 1.1</b>	Iluminación según la actividad.....	3
<b>Tabla 1.2</b>	Parámetros recomendados en establecimientos educativos.....	5
<b>Tabla 1.3</b>	Propiedades del IEEE 802.15.4.....	6
<b>Tabla 2.1</b>	Análisis del comportamiento de la tensión.....	25
<b>Tabla 2.2</b>	Análisis del comportamiento de la corriente.....	25
<b>Tabla 2.3</b>	Análisis del comportamiento de la potencia.....	26
<b>Tabla 2.4</b>	Niveles de luminosidad Máquinas Eléctricas, Control y Monitoreo, Microbótica.....	28
<b>Tabla 2.5</b>	Niveles de luminosidad Alta Tensión, Sistemas Electrónicos, Investigación y Proyectos.....	29
<b>Tabla 2.6</b>	Niveles de luminosidad Control y Procesos, Automatización y Comunicación, Circuitos Eléctricos.....	30
<b>Tabla 2.7</b>	Niveles de luminosidad Electromagnetismo, Instalaciones Civiles, Instalaciones Industriales.....	31
<b>Tabla 2.8</b>	Niveles de luminosidad Instrumentación, Pasillos.....	32
<b>Tabla 3.1</b>	Cantidad de luminarias por ubicación.....	38
<b>Tabla 3.2</b>	Datos técnicos de las luminarias.....	45
<b>Tabla 3.3</b>	Especificaciones técnicas luminaria campana LED 200W/90° LEDEX.....	46
<b>Tabla 3.4</b>	Especificaciones técnicas de Z-Wave.....	52
<b>Tabla 4.1</b>	Tabla descriptiva de cargas instaladas para iluminación.....	56
<b>Tabla 4.2</b>	Potencia proyectada para el sistema de iluminación.....	57
<b>Tabla 4.3</b>	Presupuesto del sistema de iluminación proyectado.....	60
<b>Tabla 4.4</b>	Parámetros del estudio de costo de vida.....	61
<b>Tabla 4.5</b>	Resultados del estudio de costo ciclo de vida.....	62
<b>Tabla 4.6</b>	Resultados de la tasa interna de retorno.....	63
<b>Tabla 4.7</b>	Calculo de emisión de CO <sub>2</sub> .....	64

## ÍNDICE DE ANEXOS

### **Anexo A.**

Equipos de medición, ver en la página 75.

### **Anexo B.**

Modelamiento y simulación en software Dialux del sistema actual de iluminación, ver en CD adjunto.

### **Anexo C.**

Modelamiento y simulación en software Dialux del sistema proyectado de iluminación, ver en CD adjunto.

### **Anexo D.**

Cotizaciones de material, ver en CD adjunto.

**RESUMEN**

**“ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA  
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS LABORATORIOS  
DE INGENIERÍA ELÉCTRICA UPS”**

José Luis Palacios Carrera  
palacios82jose@gmail.com  
Universidad Politécnica Salesiana

*Resumen*— El objetivo de esta tesis es el estudio para el mejoramiento de la eficiencia energética. Con el fin de diagnosticar el estado actual de las instalaciones e identificar las fallencias que podrían existir. Para sugerir una alternativa en el sistema de iluminación que beneficiará a los estudiantes y a los docentes, puesto que contarán con un ambiente adecuado de trabajo según la actividad que estén realizando, porque tendrán un buen nivel de confort visual.

Para el estudio fue necesario una auditoria energética que consistía en realizar las mediciones de voltaje, corriente, potencia, frecuencia y consumo de energía. El análisis del sistema de iluminación actual, efectuando mediciones manuales de niveles de iluminación, posterior modelamiento y simulación utilizando como herramienta tecnológica el software DiaLux, que determinaron los bajos niveles de luminosidad en los laboratorios, no cumpliendo las exigencias mínimas de la norma UNE-EN 12464-1 respecto a iluminación de los lugares de trabajo en interior. Se propone un nuevo diseño de sistema de iluminación, con luminarias eficientes y controlado por un sistema domótico (Z-Wave) que permite monitorea y optimiza su uso.

Es imprescindible el análisis económico financiero con el fin de verificar si la inversión es factible para la Universidad Politécnica Salesiana.

Finalmente comprobar que el proyecto es ecológico evitando la emisión de CO<sub>2</sub> al medio ambiente por concepto de energía no consumida.

*Índice de Términos*— Comunicación Inalámbrica, Consumo Energético, Domótica, Flujo Luminoso, Iluminación, Luminaria, Norma, Z-Wave.

## INTRODUCCIÓN

La comunidad internacional en los últimos tiempos viene realizando varios cambios, con el objetivo de llegar a una eficiencia energética y con ello disminuir la emisión de gases de efecto invernadero los cuales son uno de los factores causantes del calentamiento global. En la actualidad el Ecuador también se está manejando con una política de eficiencia energética en el campo eléctrico.

En la Universidad Politécnica Salesiana, campus Kennedy, la carrera de Ingeniería Eléctrica, el horario de funcionamiento es nocturno lo que implica la utilización de luz artificial; actualmente están instaladas lámparas fluorescentes de 40W T12, que suelen producir parpadeos y focos incandescentes que ha originado un alto consumo energético. Además la luminosidad en los laboratorios tienen ciertas deficiencias entre ellas: falta de iluminación localizada en los puestos de trabajo, falta de niveles adecuados como lo establece la norma UNE-EN 12464-1 para establecimientos educativos, una adecuada distribución para evitar reflejos, y el carecer de un tono adecuado para una buena reproducción cromática. Estos aspectos generan fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza y estrés.

Una auditoria energética en los laboratorios de ingeniería eléctrica permitió averiguar el estado actual de las instalaciones eléctricas del sistema de iluminación y de los niveles de luminosidad de los mismos. Así que considerando la normativa de iluminación UNE-EN 12464-1, se analizó las alternativas tecnológicas de luminarias y se eligió la más eficiente energéticamente, con ella mediante el software de iluminación DiaLux se realizaron simulaciones, que permiten una visualización en 3D virtual, de cómo quedarían instaladas las luminarias en visualizaciones foto realistas.

Verificado que el modelamiento en el software cumplió con las normas de iluminación se realiza el diseño de los planos eléctricos incluyendo el unifilar y se estableció el sistema de control inalámbrico con tecnología Z-Wave.

Un análisis económico financiero permitió verificar la factibilidad del proyecto, por ser eficientemente energético, mejorar los niveles de luminosidad y ecológico por evitar el consumo de productos contaminantes y la emisión de CO<sub>2</sub> al medio ambiente.

# CAPÍTULO I

## NORMATIVAS Y HERRAMIENTAS TÉCNICAS

La demanda de sistemas de gestión de viviendas y edificios está creciendo continuamente, más comodidades, más control, más seguridad, mayor ahorro energético. Todo este avance tecnológico conlleva una serie de normativas que rige dicha tecnología, en este caso se mencionarán normativas vigentes para optimizar la eficiencia energética de los laboratorios de ingeniería eléctrica. Para conocer el estado del sistema de iluminación de la edificación es necesario realizar estudios de comportamiento y de consumo, para lo cual se utilizarán herramientas técnicas como dichos equipos: analizador de potencia, luxómetro, multímetro entre otros son indispensables para una acertada recolección de datos y posterior análisis.

Los últimos avances tecnológicos de los sistemas de control y comunicación para Smart home y Smart Building van ganando espacio y más aún los sistemas inalámbricos como los protocolos ZigBee y Z-Wave; su comparación ayudará a visualizar de mejor manera según la tecnología a ser utilizada.

### 1.1 Normativas

Son reglas pre establecidas para un determinado tema o acción, estas fueron hechas bajo rigurosos estudios, siendo de total confiabilidad para su utilización, dentro del estudio usaremos las normas descritas a continuación.

#### 1.1.1 Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10.

Tiene como objeto establecer las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas de bajo voltaje, con el fin de proteger a las personas que las operan, proteger los equipos y mantener el sitio en óptimas condiciones donde fueron equipados.

Las disposiciones se aplicarán al diseño, construcción y mantenimiento de las instalaciones eléctricas cuyo voltaje sea inferior a 600 V. Para el presente tema de estudio se tomarán en cuenta lo relacionado a iluminación en ambientes asistenciales y educacionales.

El nivel de iluminación mínimo según el tipo de local y tarea que en él se desarrolle, se determinará de acuerdo a la tabla 1.1 [1].

<b>Tipo de Recinto</b>	<b>Iluminancia [Lux]</b>
Bibliotecas	400
Cocinas	300
Gimnasios	200
Oficinas	300
Pasillos	100
Policlínicos	300
Salas de cirugía	500
Salas de clases	300
Salas de dibujo	600

**Tabla 1.1.** Iluminación según la actividad.

**Fuente.** NEC 2008. 2008, pp. 1–931.

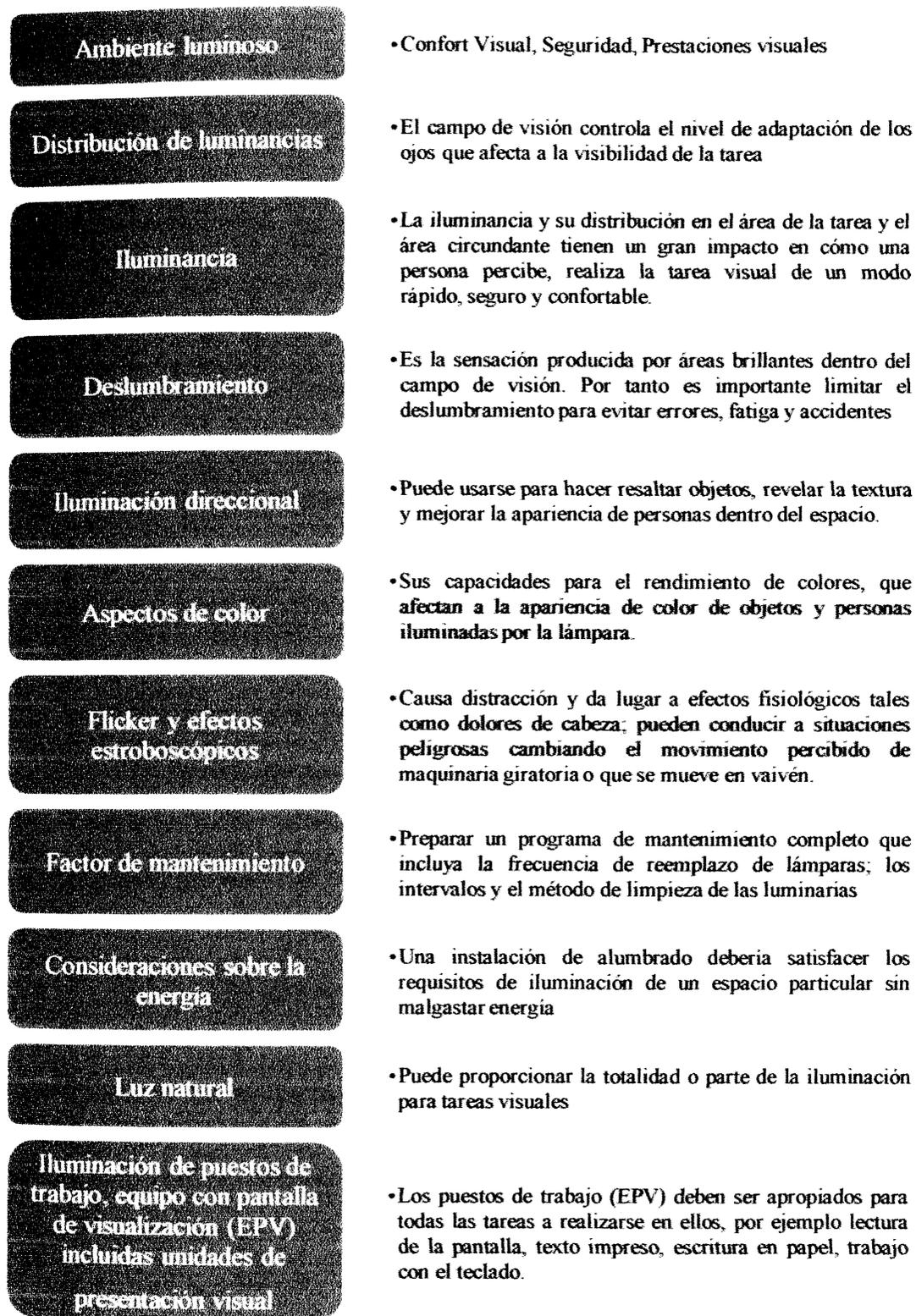
En ambientes educacionales deberán implementarse circuitos exclusivos de tomacorrientes y circuitos exclusivos de iluminación y protecciones independientes.

### **1.1.2 Norma UNE-EN 12464-1**

La Norma Europea UNE-EN 12464-1, respecto a la iluminación de los lugares de trabajo en interior, define los parámetros recomendados para los distintos tipos de áreas, tareas y actividades. Las recomendaciones de esta norma, en términos de cantidad y calidad del alumbrado, contribuyen a diseñar sistemas de iluminación que cumplen las condiciones de calidad y confort visual, permitiendo crear ambientes agradables para los usuarios de las instalaciones. La iluminación puede ser proporcionada mediante luz natural, alumbrado artificial o una mezcla de las dos [2].

#### **1.1.2.1 Criterios de diseño de iluminación**

Para la buena práctica de iluminación, es esencial que además de la iluminancia requerida, se satisfagan necesidades cualitativas y cuantitativas; visualicemos en la figura 1.1 [3] todos los criterios a considerar.



**Figura 1.1** Criterios de diseño de iluminación.

Fuente. Propia del autor.

Los requisitos visuales deben ser estudiados en función de las tareas que se vayan a realizar, ya que pueden variar significativamente entre actividades, en este caso el estudio está dirigido a establecimientos educativos como se muestra en la Tabla 1.2 [2].

Lugar o Actividad	Em (lux)	UGR <sub>L</sub>	Ra	Observaciones
Aula	300	19	80	Iluminación controlable
Aula para clases nocturnas	500	19	80	Iluminación controlable
Sala de lectura	500	19	80	Iluminación controlable
Pizarra	500	19	80	Evitar reflejos
Aula de dibujo técnico	700	16	80	
Aula de práctica y laboratorios	500	19	80	
Talleres de enseñanza	500	19	80	
Aula de informática	300	19	80	
Halls de ingreso	200	22	80	
Aula de preparación y talleres	500	22	80	
Área de circulación y pasillos	100	25	80	
Escaleras	150	25	80	
Sala de profesores	300	19	80	

**Tabla 1.2** Parámetros recomendados en establecimientos educativos

**Fuente.** Comunidad de Madrid, "Guía Técnica de Iluminación Eficiente Sector Residencial y Terciario." Madrid, pp. 1-57, 2006.

Em= Iluminancia media, UGR<sub>L</sub>= Índice de deslumbramiento unificado, Ra=Propiedades de color.

### 1.1.3 Estándar IEEE 802.15.4

#### 1.1.3.1. Generalidades

En el año 2000 dos grupos especialistas en estándares (ZigBee y el grupo 15 de trabajo IEEE 802) se juntaron para dar a conocer la necesidad de un nuevo estándar para redes inalámbricas de bajo poder y por lo tanto bajos costos, en ambientes industriales y caseros.

La intención del estándar es definir los niveles de red básicos para dar servicio a un tipo específico de red inalámbrica de área personal (WPAN) centrada en la habilitación de comunicación entre dispositivos con bajo coste y velocidad. Se enfatiza el bajo coste de comunicación con nodos cercanos y sin infraestructura o con muy poca, para favorecer aún más el bajo consumo.

Algunas características de alto nivel del 802.15.4 se resumen en la tabla 1.3 [4].

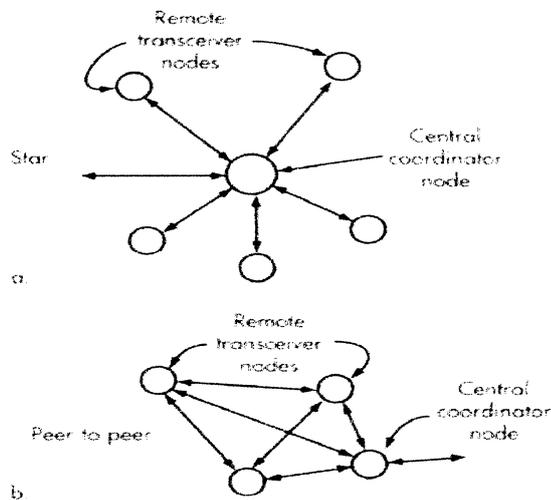
Propiedad	Rango
Rango de transmisión de datos	868 MHz: 20kb/s; 915 MHz: 40kb/s; 2.4 GHz: 250 kb/s.
Alcance	10 – 20 m.
Latencia	Inferior a 15 [ms]
Canales	868/915 MHz: 11 canales. 2.4 GHz: 16 canales.
Bandas de frecuencia	Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz.
Direccionamiento	Cortos de 8 bits o 64 bits IEEE
Canal de acceso	CSMA-CA y rasurado CSMA-CA
Temperatura	El rango de temperatura industrial: -40° a +85° C

**Tabla 1.3** Propiedades del IEEE 802.15.4.

Fuente. IEEE 802.15, *El estándar IEEE 802.15.4*. 2007, pp. 1–18.

### 1.1.3.2. Topología

En este estándar es de dos tipos de tipo: estrella y punto a punto como lo muestra la figura 1.2 [5]. La topología a escoger es una elección de diseño y va a estar dado por la aplicación a la que se desee orientar; algunas aplicaciones como periféricos e interfaces de PC, requieren de conexiones de baja potencia de tipo estrella, mientras que otros como los perímetros de seguridad requieren de una mayor área de cobertura por lo que es necesario implementar una red punto a punto.



**Figura 1.2** a) Topología estrella, b) Topología punto por punto.

Fuente. N. Hunn, *Essentials of short - range wireless*. New York, 2010, pp. 147–174.

## 1.2. Equipos de medición

Es imprescindible que los equipos de medición tengan una alta precisión para obtener datos apegados a la realidad como los equipos citados a continuación:

- Analizador de calidad de la energía eléctrica Fluke 430B
- Luxómetro AMPROBE modelo LM-120

### **1.2.1 Analizador de calidad de la energía**

Equipo que permite registrar los diferentes parámetros y al analizarlos podemos determinar los problemas relacionados con la calidad de energía, y así garantizar un funcionamiento fiable de sus cargas. Una perturbación eléctrica o evento puede afectar la corriente alterna, la frecuencia, la demanda, la demanda máxima, la raíz cuadrada de la tensión, la distorsión armónica y el factor de potencia. Las perturbaciones eléctricas pueden originarse en las instalaciones del usuario, las cargas del usuario o la compañía eléctrica.

El beneficio más importante de estos equipos es la posibilidad de rastrear anomalías y perturbaciones en la calidad de la misma, lo que te permitirá aumentar la fiabilidad del sistema de energía analizado.

### **1.2.2 Luxómetro**

Este instrumento permite medir la iluminancia real y no subjetiva de un ambiente, reconoce una medida de la luz recibida en un punto dado. La unidad de medida es lux (lx), también es una herramienta para optimizar la iluminación interior ya que del 20 al 60 % de la electricidad es consumida por la iluminación.

Mediante el sensor existente en el luxómetro, se obtiene el valor de intensidad de luz en el punto seleccionado, permitiendo saber si la luz (natural o artificial) que recibe cumple con los valores mínimos específicos que por normativa se asigna a diferentes actividades.

## **1.3. Sistemas de control y comunicación para Smart Home y Smart Building**

Los sistemas de control son aquellos que reciben información de las entradas (sensores o controles), la procesan y envían órdenes a las salidas o actuadores, un buen control de los dispositivos necesita de un sistema de comunicación ágil. El protocolo de comunicación es el formato o idioma que los diferentes elementos de control utilizan para entenderse unos con otros y permiten el intercambio de información de una manera coherente [6].

La comunicación en los sistemas de automatización, gestión de energía y seguridad se clasifican en tres grupos:

- Los sistemas por cables específicos, los cuales utilizan un medio físico como cables (trenzado, paralelos, coaxiales, fibra óptica).
- Los sistemas de corrientes portadoras que utilizan en todo o en parte, señales que transmiten por las instalaciones eléctricas de baja tensión.
- Los sistemas de señales radiadas, entre ellas: radiofrecuencia, infrarrojos, ultrasonido. Y en los últimos tiempos conexiones inalámbricas con los estándares: Bluetooth, Wifi, ZigBee, Z-Wave.

### **1.3.1 Protocolos de comunicación**

El protocolo de comunicación es el idioma o lenguaje de los diferentes sistemas de control; esto permite el intercambio de información coherente entre entradas (control o sensores) y los actuadores o salidas, los protocolos pueden ser implementados por hardware, software, o una combinación de ambas. Existen diversas características que lo diferencian de otras tecnologías, bajo consumo, topología en red de malla, fácil integración, entre otras.

#### **1.3.1.1 Estándares propietarios o cerrados**

Son protocolos determinados de una marca en particular y que solo son usados por dicha marca. Pueden ser variantes de protocolos estándares, de manera que solo el fabricante puede realizar mejoras y fabricar dispositivos que tengan el mismo lenguaje.

Esto protege los derechos del fabricante, pero limita la aparición de continuas evoluciones en los sistemas domóticos, otro problema que tienen es la vida útil del sistema domótico, ya que un sistema propietario que depende de una sola empresa, si ésta finiquita su funcionamiento, el sistema desaparece y las instalaciones quedan sin soporte ni repuestos.

#### **1.3.1.2 Estándares definidos o abiertos**

Son protocolos definidos entre varias compañías con el fin de unificar criterios, es decir, que no existen patentes sobre el protocolo, de manera que cualquier fabricante puede desarrollar aplicaciones y productos que lleven implícito el protocolo de comunicación. En sistema estándar, si una compañía desaparece o deja de sacar productos al mercado,

no afecta demasiado ya que otros productos fabricantes de los productos en el mercado pueden cubrir la demanda.

Los protocolos estándar para aplicaciones domóticas más extendidos en la actualidad son: KNX, Lonworks, X10, ZigBee y Z-Wave.

Desde los inicios de la domótica hubo una carrera constante por parte de los fabricantes y agrupaciones de empresas del sector por establecer estándares de fabricación, en la actualidad solo dos lograron permanecer en el tiempo e imponerse a nivel mundial, los cuales son, el KNX de Konnex Association y el LonWorks de LonMark Association.

### **1.3.2 Comunicación inalámbrica**

Las redes inalámbricas permiten la interconexión entre dos o más puntos, por medio de ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio llevando información de un lugar a otro. Para conseguir el intercambio de información existen diferentes formas de comunicación o protocolos que establecen reglas que permiten el flujo confiable de información entre nodos. Por ejemplo, el conjunto de protocolos TCP/IP utilizado en redes de computadoras como internet, permite que cualquier computadora que los implemente pueda comunicarse con otra que se encuentre conectada a la misma red.

#### **1.3.2.1 Infrarrojos**

Los sistemas infrarrojos de comunicaciones cuentan con un canal cuyo potencial de ancho de banda es muy grande y no están regulados en ninguna parte del planeta. Además, los sistemas infrarrojos de comunicaciones son inmunes a interferencias y ruido de tipo radioeléctrico. La comunicación se realiza entre un diodo emisor de luz en banda de infrarrojos, en la que superpone una señal, convenientemente modulada con la información del control, y el fotodiodo receptor que recibe la señal emitida por el control. La desventaja de este sistema es que la comunicación tiene que ser directa es decir sin ningún obstáculo.

#### **1.3.2.2 Radiofrecuencias**

Gracias a los fenómenos de refracción, reflexión, difracción y dispersión se puede realizar la comunicación inalámbrica a grandes distancias.

La tecnología RFID utiliza cuatro bandas de frecuencia: baja, alta, muy alta y microondas.

La baja frecuencia utiliza la banda de 120-140 kHz. La alta frecuencia utiliza la tecnología RFID en 13,56 MHz. En ultra alta frecuencia RFID utiliza la gama de frecuencias de 860 a 960 mega hertzios. La RFID de microondas en general utiliza las frecuencias de 2,45 Giga Hertz y superiores. Para las cuatro bandas de frecuencia utilizadas en RFID, las frecuencias de microondas tienen la menor longitud de onda.

### **1.3.2.3 Ultrasonido**

Esta señal es sonora o acústica cuya señal no es captada por el oído humano (>20 kHz), algunos animales lo utilizan de forma parecida a un radar en su orientación, fenómeno conocido como eco localizador. Se trata de que las ondas emitidas por estos animales son tan altas que “rebotan” fácilmente en todos los objetos alrededor de ellos, esto hace que creen una imagen y se orienten en donde se encuentran. En el ámbito industrial se utiliza para medir distancias, detección de objetos, entre otros.

### **1.3.3 ZigBee**

Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicaciones inalámbricos similar al Bluetooth, y basado en el estándar para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs, Wireless Personal Área Networks), bajo el estándar IEEE 802.15.4 este utiliza radiodifusión digital de bajo consumo. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías [7].

La ZigBee Alliance es una comunidad internacional de más de 100 compañías como Motorola, Mitsubishi, Philips, Samsung, Honeywell, Siemens, entre otras; cuyo objetivo es habilitar redes inalámbricas con capacidades de control y monitoreo que sean confiables, de bajo consumo energético y de bajo costo, que funcione vía radio y de modo bidireccional; todo basado en un estándar público global que permita a cualquier fabricante crear productos que sean compatibles entre ellos.

De esta forma los estándares IEEE 802.15.4 y ZigBee se complementan proporcionando una pila completa de protocolos que permiten la comunicaciones entre multitud de dispositivos de una forma eficiente y sencilla.

Como se aprecia en la figura 1.3 [8], el estándar IEEE solo contempla las capas física (PHY, Física) y de acceso al medio (MAC, Medio de acceso de control), en las características CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) y DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), mientras que las capas superiores de red y

La red inalámbrica Z-Wave permite a cualquier nodo de hablar con otros nodos cercanos directamente o indirectamente a través de relés disponibles, la red Z-Wave puede tener hasta 232 nodos, utiliza la banda ISM sin licencia y opera a 908,42 MHz en los EE.UU. y Canadá, pero utiliza otras frecuencias en otros países por sus reglamentos, el alcance de comunicación media es de 30,5 m equivalente a 100 pies en espacio libre y con paredes un poco menos, pero es más que suficiente para la comunicación a nivel residencial; está diseñado para ser fácilmente integrado en los productos electrónicos de consumo, incluyendo la batería de dispositivos tales como operar los mandos a distancia, detectores de humo y sensores de seguridad [8] [9].

El ID de red (también llamado Home ID) es la identificación común de todos los nodos que pertenecen a una red Z-Wave lógico. El ID de red tiene una longitud de 4 bytes (32 bits) y se asigna a cada dispositivo, por el controlador primario, cuando el dispositivo está "incluido" en la red. Los nodos con diferentes ID de red no pueden comunicarse entre sí.

Z-Wave utiliza una fuente de enrutador de la red de malla de topología, los dispositivos se pueden comunicar entre sí mediante el uso de nodos intermedios activamente ruta alrededor y sortear los obstáculos del hogar o de radio puntos muertos que pudieran ocurrir. Un mensaje desde el nodo A al nodo C se puede entregar con éxito incluso si los dos nodos que no están dentro del rango, siempre que un tercer nodo B, pueden comunicarse con los nodos A y C. Si la ruta preferida no está disponible, el autor del mensaje intentará otras rutas hasta que un camino se encuentra al nodo C [10] [11]. Por lo tanto, una red Z-Wave puede abarcar mucho más lejos que el alcance de radio de una sola unidad, sin embargo, con varios de estos saltos que un ligero retraso se puede introducir entre el comando de control y el resultado deseado.

En versiones posteriores de Z-Wave, se introdujeron nuevos mecanismos de descubrimiento de red. Las llamadas "tramas exploradoras" pueden manipularse para curar rutas rotos causados por los dispositivos que se han movido o eliminado. Marcos Explorer se emiten con un algoritmo de poda y por lo tanto se supone que para llegar al dispositivo de destino, incluso sin un mayor conocimiento de topología por el transmisor. Tramas exploradoras se utilizan como última opción por el dispositivo emisor cuando todos los otros intentos de enrutamiento han fracasado.

#### **1.4 Estado del arte respecto a eficiencia energética aplicada a hogares y edificios.**

La contaminación a nivel mundial ha crecido a niveles alarmantes caóticos, esto motivó a los líderes mundiales tomar medidas correctivas y preventivas para disminuir radicalmente la contaminación ambiental. Esto ha desencadenado en la evolución de tecnologías más eficientes energéticamente, es decir que hagan lo mismo o mejor con el mínimo consumo energético; y por otra parte la creación de normas para optimizar los recursos.

Para evaluar y certificar algunos países han desarrollado métodos de evaluación entre las que más destacan son: USA (LEED), Reino Unido (BREEAM), Singapore Green Mark and Construction Quality Assessment System (CONQUAS), China (GBAS), Japón (CASBEE), Portugal (Lider A), España (VERDE), Canadá: LEED Canada/ Green Globes [12].

##### **1.4.1 Certificación LEED**

La certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) que significa Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental. Es un programa sin fines de lucro, de certificación independiente y es el punto de referencia para el diseño, la construcción y la operación de construcciones para obtener edificios sustentables de alto rendimiento, que cumplan las normativas vigentes.

Fue desarrollada en el año 2000 por el U.S. Green Building Council (USGBC), el consejo de construcción sustentable al nivel nacional para los Estados Unidos, y sirve como herramienta para las construcciones de todo prototipo y tamaño, sean nuevas o remodelaciones de gran magnitud [13].

El modus operandi es sumar puntos de prerequisites, existe una base de 100 puntos; además de 6 posibles puntos en innovación en el diseño y 4 puntos en prioridad regional, estos requisitos se encuentran divididos en seis categorías como lo muestra la figura 1.4.

- (SS) • Sitios Sustentables
- (WE) • Ahorro de Agua
- (EA) • Energía y Atmósfera
- (MR) • Materiales y Recursos
- (IEQ) • Calidad Ambiental de los Interiores
- (ID) • Innovación en el Diseño

**Figura 1.4** Categorías de créditos LEED.

**Fuente.** Propia del autor.

#### **1.4.1.1 Sitio sustentable**

La construcción en sitios sostenibles toma como referencia que los terrenos han sido desarrollados previamente, esto minimiza el impacto sobre los ecosistemas y los sistemas hidrológicos; fomenta el diseño de áreas verdes regionalmente apropiadas; controla las aguas pluviales residuales; reduce la erosión y la contaminación relacionada a la construcción.

#### **1.4.1.2 Ahorro del agua**

Las edificaciones son los mayores consumidores de suministro de agua potable, la meta de la categoría es fomentar el uso inteligente del agua dentro y fuera de la edificación. La reducción del consumo de agua es generalmente conseguida mediante aparatos, accesorios y mobiliarios más eficientes adentro de la edificación y contar con áreas verdes inteligentes lo que evitará el desperdiciar el consumo de agua en los exteriores.

#### **1.4.1.3 Energía y atmósfera**

La categoría de energía y atmósfera fomenta una gran diversidad de estrategias de energía: y lo primero es la vigilancia del uso de energía, diseño y construcción eficientes, sistemas e iluminación inteligentes; el uso de fuentes de energía limpias y renovables, y otras estrategias innovadoras.

#### **1.4.1.4 Materiales y recursos**

Durante la construcción y la operación, las edificaciones producen desperdicios y utilizan materiales y recursos. Esta categoría fomenta la selección de productos y materiales cultivados, cosechados, producidos y transportados de forma sostenible. Promueve la disminución de desperdicios al igual que la reutilización y el reciclaje.

#### **1.4.1.5 Calidad ambiental de los interiores**

La mayoría de las personas permanecen dentro del edificio casi en la totalidad del tiempo, lo que genera preocupación de que la calidad del aire interno puede ser peor que la exterior.

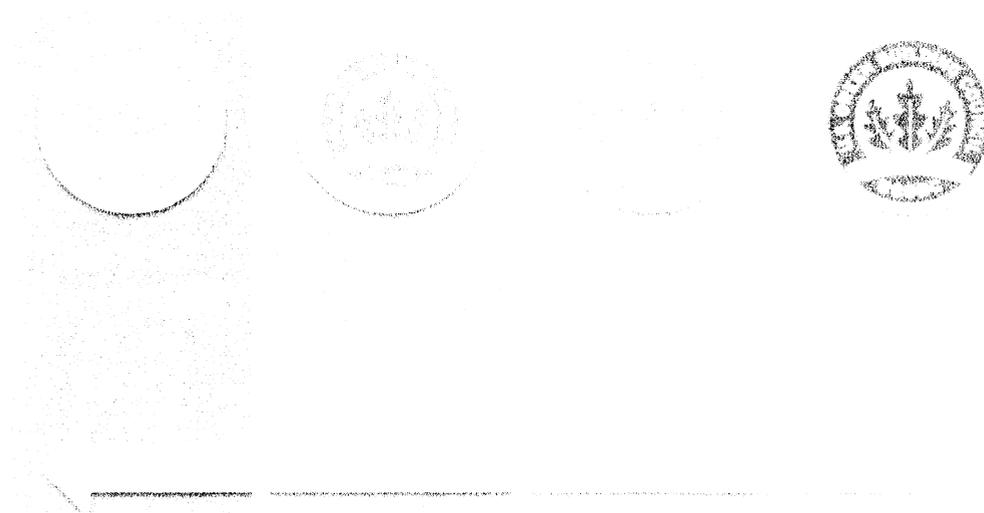
Esta categoría promueve estrategias que pueden mejorar el aire interno al igual que pueden brindar el libre acceso a la luz natural y mejoramiento de la acústica.

#### **1.4.1.6 Innovación en el diseño**

La Innovación en el Diseño brinda puntos adicionales a los proyectos que utilizan tecnologías y estrategias nuevas e innovadoras para mejorar el rendimiento de un edificio más allá de los que requiere LEED o las consideraciones de construcciones verdes. Esta categoría también premia a los proyectos por incluir a un profesional acreditado en LEED en su equipo con el fin de asegurar un enfoque holístico, integrado en la fase de diseño y construcción.

Un proyecto que siga el modelo de construcción de certificación LEED, comparada con otra convencional, reduce entre el 30 y 70% el consumo de energía, del 30 al 50% el consumo de agua, entre el 50 y el 90% el costo de los residuos, y aproximadamente el 35% de las emisiones de dióxido de carbono [13].

El cumplimiento de dichos parámetros otorga una serie de puntos, en función de los cuales se otorga el grado de la certificación (LEED Certificate, Silver, Gold y Platinum), como se muestra en la figura 1.5. [14].



**Figura 1.5** Niveles de certificación LEED.

**Fuente.** Propia del autor.

### **1.4.2 Certificación VERDE**

Green Building Council España (GBCe) es una entidad encargada de emitir certificados medioambientales de edificios de conformidad con la metodología de evaluación VERDE a través de la marca: GBCe VERDE ésta reconoce la reducción de impacto medioambiental del edificio que se evalúa comparado con un edificio estándar. Este edificio estándar cumple las exigencias mínimas fijadas por las normas.

Lo realmente innovador, eco-compatibles o sostenibles para que pueda ser merecedor de una certificación medioambiental.

La metodología VERDE está basada en parte en la metodología GBTool desarrollada por el GBC (Green Building Challenge), en la actualidad denominado iSBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment) y utiliza una aproximación al análisis del ciclo de vida (ACV) de cada fase del proceso constructivo (Etapa de Producto, Transporte de Materiales, Etapa de Construcción, Uso del Edificio, Etapa de fin de vida, rehabilitación o demolición) [15] [16].

Los criterios de evaluación se detallan a continuación:

#### **1.4.2.1 Selección del sitio, proyecto de emplazamiento y planificación**

Estrategias para el reciclaje de residuos en la comunidad o proyecto, uso de plantas autóctonas y la contaminación lumínica.

#### **1.4.2.2 Energía y atmósfera**

Uso de energía no renovable en los materiales de construcción y para su transporte, consumo de energía no renovable durante el uso, demanda y eficiencia de los sistemas.

Demanda de energía eléctrica en la fase de uso.

Producción de energía renovable en la parcela.

Emisiones de sustancias foto-oxidantes y que reducen el ozono estratosférico.

#### **1.4.2.3 Recursos naturales**

Consumo de agua potable, retención de aguas de lluvia para su reutilización, reutilización de aguas grises, impactos de los materiales de construcción, estrategias para el desmontaje, reutilización y reciclado; y por último los impactos generados en el proceso de construcción y residuos de la misma.

#### **1.4.2.4 Calidad del espacio interior**

Los contaminantes emitidos por materiales nuevos en los acabados interiores, concentración de CO<sub>2</sub> en el aire interior, limitación a la velocidad de aire en las zonas con ventilación mecánica y eficiencia de la ventilación en las áreas con ventilación natural, confort hidrotérmico en los espacios con ventilación mecánica, confort térmico en los espacios con ventilación natural, iluminación natural en los espacios de ocupación primaria, deslumbramiento en las zonas de ocupación no residencial, nivel de iluminación y calidad de la luz en los puestos de trabajo, protección frente al ruido en zonas de ocupación primaria.

#### **1.4.2.5 Calidad del servicio**

Eficiencia volumétrica y de los espacios, provisión y funcionamiento de un sistema de control de las instalaciones, capacidad de funcionamiento parcial de las instalaciones y sistemas técnicos, capacidad de control local del sistema de iluminación, en las áreas de ocupación no residencial.

Capacidad de control local de los sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación, posibilidad de modificación de las instalaciones técnicas en el edificio, Adaptabilidad de los espacios limitaciones impuestas por: la estructura, la altura de los pisos, las fachadas y las instalaciones técnicas.

Adaptabilidad a cambios futuros en el tipo de suministro energético, desarrollo e implementación de un plan de gestión de mantenimiento, monitorización y control del

edificio durante el uso.

#### 1.4.2.6 Impacto socio económico

Estrategias para mejorar el acceso para personas discapacitadas, derecho al sol, acceso a espacios abiertos privados desde las viviendas, protección a las vistas desde el exterior al interior de las viviendas, acceso visual desde las áreas de trabajo, coste de construcción, coste de mantenimiento, incentivo por la venta o alquiler.

La acreditación final se plasma en “Hojas VERDE” que se asignan en función del impacto evitado conforme a la metodología expuesta con los criterios ver en la figura 1.6 [17]:

0 hojas VERDE = 0 puntos

1 hoja VERDE = 1 punto

2 hojas VERDE = 2 puntos

3 hojas VERDE = 3 puntos

4 hojas VERDE = 4 puntos

5 hojas VERDE = 5 puntos

**Figura 1.6** Niveles de certificación.

**Fuente.** Atecos, “CERTIFICACIÓN VERDE.” pp. 1–10, 2012.

La herramienta de evaluación VERDE viviendas, junto con la herramienta de ayuda al diseño, permiten de una forma rápida y sencilla evaluar las mejoras introducidas y contribuir al desarrollo sostenible en el sector a implementar.

### 1.4.3 Certificado de etiqueta eficiencia energética de edificios y residencial.

A nivel de Europa en especial de España, es un requisito poseer la etiqueta de eficiencia energética para su comercialización o arrendamiento. La etiqueta de eficiencia energética es un distintivo que señala el nivel de calificación de eficiencia energética obtenida mediante los procedimientos considerados por las entidades evaluadoras [18].

La etiqueta energética clasifica los edificios dentro de una escala de siete letras, que parte desde A hasta G, donde A (edificio más eficiente) y G (edificio menos eficiente) como se muestra en la figura 1.7 [19].

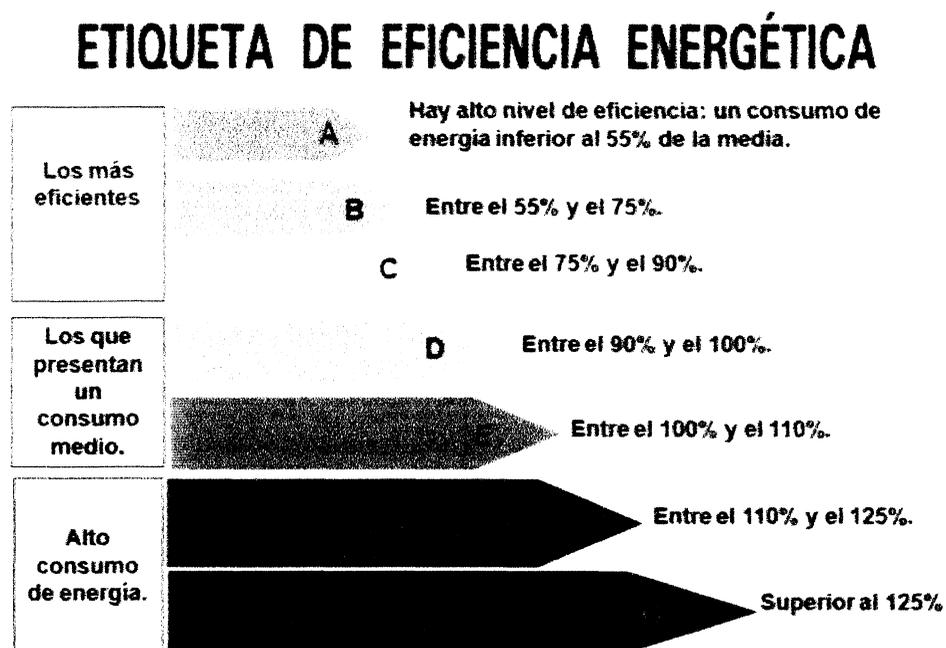


Figura 1.7 Etiqueta de eficiencia energética.

Fuente: V. Fabricio, "Estudio técnico experimental de los efectos del empleo de focos ahorradores en instalaciones residenciales," Universidad Politécnica Salesiana, 2011.

### 1.5 Luminarias

La humanidad en inicio solo contaba con el sol, la luna y las estrellas como una fuente de iluminación, cuando el hombre dominó el fuego contó por primera vez con una fuente de luz artificial, después contaron con lámparas de queroseno, aceite y velas. Es apenas en el siglo XVIII que se descubre la energía eléctrica y con ella aparecieron los dispositivos de iluminación artificial (luminarias).

La finalidad de una fuente de luz es producirla, y la eficiencia de una luminarias en producirla esta traducida en lúmenes por cada vatio consumido, esta relación es llamada eficiencia luminosa [20].

Es importante tener en cuentas ciertos conceptos.

**Lumen:**

Es la unidad para medir la cantidad de luz que emite, su símbolo es lm.

**Temperatura de color:**

Hace referencia al color de la luz del bombillo, se mide en K (Kelvin).

**Flujo luminoso:**

La cantidad de luz que emite una lámpara, se mide por lúmenes (lm)

**Eficacia lumínica:**

La cantidad de luz que emite la lámpara por cada vatio de potencia que consume, ya que una lámpara con mayor eficacia reduce el gasto energético [21].

Para facilidad en el análisis se clasificará por su tecnología:

- Luminarias incandescentes
- Luminarias fluorescentes
- Luminarias LED

**1.5.1 Luminarias incandescentes**

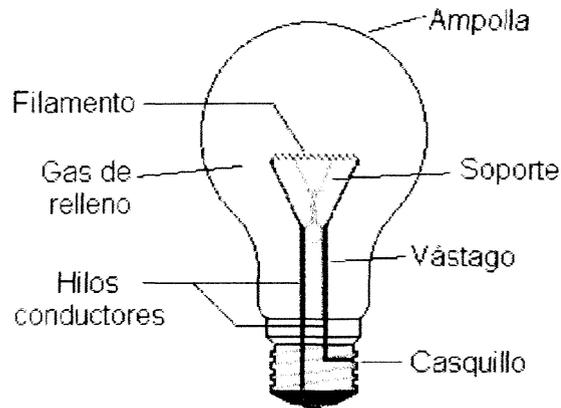
La lámpara incandescente produce luz por medio del calentamiento eléctrico de un alambre (filamento) a una temperatura alta, la radiación se emite en el campo visible del espectro, debido al paso de corriente eléctrica a través de él. Estos focos eran los más populares por su bajo precio y el color cálido de luz. También es el de menor vida útil con unas 1000 horas. No ofrece muy buena reproducción cromática, ya que no emite en la zona de colores fríos. Su eficiencia es muy baja por tal motivo dichos focos están saliendo del mercado ya que el MEER (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable) en la resolución COMEX 529 restringió la importación de focos incandescentes entre 25 y 100W [22] [23].

El avance más prominente de esta tecnología son las luminarias dicroicas, estas son de baja potencia es decir no superan los 50 W y la ventaja es que podemos atenuar la cantidad lumínica [24].

Las partes de una luminaria incandescente se muestran en la figura 1.8 [25].

Las características principales son:

Apariencia de color:	Blanco cálido
Temperatura de color:	2600 °K
Reproducción de color:	Ra 100
Vida útil:	1000 horas



**Figura 1.8** Partes de una luminaria incandescente.

**Fuente.** L. Lesur, *Manual de Mantenimiento Eléctrico Industrial: Una guía paso a paso*. Mexico, 2010

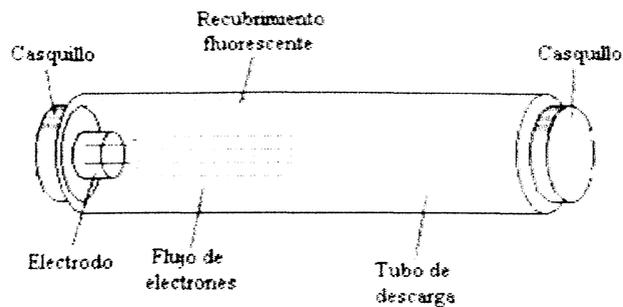
## 1.5.2 Luminarias fluorescentes

Está compuesta de un tubo de vidrio donde la radiación ultravioleta generada por la descarga de mercurio se convierte en luz visible debido a que parte interna tiene una sustancia fluorescente. Este tubo tiene en sus dos extremos, un filamento y un electrodo sensor como lo muestra la figura 1.9 [26]. Tienen una gran superficie que despiden la luz, produciendo mayormente una iluminación difusa con poca brillantez, los colores de luz de las lámparas fluorescentes son: el blanco cálido, el blanco neutro y el blanco de luz diurna. Las lámparas fluorescentes se caracterizan por una eficacia luminosa elevada y una duración de vida larga [22][25].

Sin embargo una de las problemáticas que presentan este tipo de luminarias es que introducen una gran cantidad de armónicos en la red pares e impares por ello no se puede prever el contenido de armónicos [27]. Existen lámparas fluorescentes de diversas formas: tubulares, compactas (foco ahorrador), circulares y en forma de "U".

### 1.5.2.1 Lámparas fluorescentes tubulares

Estas lámparas no pueden conectarse directamente a la red, necesita de un balastro situado entre la corriente de alimentación y la lámpara, controla limitando la corriente de la lámpara y asegura el funcionamiento confiable en condiciones determinadas.



**Figura 1.9** Partes de una luminaria fluorescente tubular.

**Fuente.** <http://edison.upc.edu/curs/llum/lamparas/ldesc2.html>.

La eficacia de estas luminarias depende de muchos factores: tipo, potencia, presión del gas de relleno, las propiedades de la sustancia fluorescente que cubre el tubo y temperatura ambiente esta es importante porque determina la presión del gas y en último término el flujo de la luminaria.

Los tubos fluorescentes para determinar el tipo, está medido en octavos de pulgada su casquillo. Es decir, un tubo T8 tiene una pulgada de diámetro ( $8/8$ ) equivalente a 2.5 cm y un tubo T12 tiene un diámetro de una pulgada y media ( $12/8$ ) equivalente 3,75 cm. Los tubos T12 y T8 están disponibles en los mismos largos 1,22 m, sin embargo, el T12 común no funciona adecuadamente con un balastro electrónico y viceversa.

### 1.5.2.2 Lámparas fluorescentes compactas

A esta tecnología de lámparas se las denomina CFL (Compact Fluorescent Lamp) que traducida quiere decir Lámpara Fluorescente Compacta), teniendo como características:

- Amplia diversidad en temperatura de color.
- Mínimo volumen comparado con los tubos fluorescentes.
- Dimensiones parecidas a los focos incandescentes.

Poseen el mismo mecanismo de funcionamiento que las luminarias fluorescentes tubulares, están formadas con uno o varios tubos doblados, la característica más importante es que llevan incorporado el equipo auxiliar, así que pueden ser conectadas directamente. Los CFL utilizan pequeños balastros electrónicos que producen alta frecuencia. Una problemática muy grande en el mercado nacional es la mala calidad de los CFL importados es su mala calidad ya que el 60% de los focos de 20W no cumple con los requerimientos mínimos de cantidad de iluminación, por ende no se tiene confort visual [19].

### 1.5.3 Luminarias de tipo LED

La tecnología LED (Lighting Emitting Diode) que traducido significa diodo emisor de luz, están basadas en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz, es de las más recientes tiene una buena reproducción cromática y es la más eficiente, a continuación detallamos las ventajas sobresalientes [24] [28].

- La vida media de una lámpara LED es de 100,000 horas, frente a las 1000 de una bombilla incandescente.
- Consume un 80 a 90% menos energía eléctrica que las anteriores tecnologías, esto significa un 90% de ahorro en la factura de consumo eléctrico.
- Son ecológicas puesto que no contienen tungsteno, ni mercurio como la iluminación fluorescente, son reciclables y cumplen con la normativa europea de sustancias contaminantes RoHS [29].
- Al tener una vida larga no necesitan ningún mantenimiento, ideal en ambientes que es dificultoso cambiar luminarias o llevar a cabo mantenimiento.
- A diferencia de una luminaria incandescente, la tecnología LED no desperdicia energía en generación de calor, lo cual permite instalar luz en sitios muy complejos, con poco espacio o donde no se puede emitir calor [30].

### 1.5.4 Análisis de la tecnología de las luminarias

La comparación la tecnología de las luminarias para poder definir la más conveniente para una futura implementación, y esto lo podemos apreciar en la tabla 1.4 [31].

	<b>LED</b>	<b>FLUORESCENTE</b>	<b>INCANDESCENTE</b>
<i>Vida útil</i>	Aproximadamente 100 000 horas	Aproximadamente 5 000 horas	Aproximadamente 1 000 horas
<i>Temperatura de trabajo</i>	Baja temperatura	Mediana temperatura	Altas temperaturas
<i>Consumo energético</i>	Bajo, alrededor de 4W	Bajo y mediano entre 20 y 80 W	Alto, superiores a 60W
<i>Costo</i>	Elevado superior a \$ 10 dependiendo el modelo	Mediano y Elevado	Bajo \$ 1
<i>Atenuación luminosa</i>	Solo con LED dimerizable	Solo con balastro electrónico dimerizable	Si
<i>Contaminación</i>	Ninguna	Por componentes internos del tubo	Por filamento

**Tabla 1.4** Tabla comparativa entre las tecnologías de las luminarias.

**Fuente.** R. Lenk and C. Lenk, *Practical Lighting Design with LEDs*. Wiley, Jhon & Sons, Inc, 2011, p.

## CAPÍTULO II

### AUDITORIA ENERGÉTICA DE LOS LABORATORIOS

Para la optimización del sistema eléctrico de los laboratorios de ingeniería eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana campus Kennedy Quito, se tiene que empezar con la auditoria energética de los mismos, es necesario la identificación del consumo energético, detectar los puntos críticos en cuanto a consumos, malas conexiones y poder establecer un plan de acción en cuanto a los periodos y puntos de toma de datos, esto puede definirse como la respuesta a la pregunta de cómo, dónde y cuanta energía es utilizada o desperdiciada, además del análisis del consumo eléctrico se requieren los perfiles energéticos, para establecer las áreas potenciales de ahorro de energía.

Es conveniente poner en práctica ciertas conclusiones básicas recordando que el objetivo no es dejar de emplear los dispositivos eléctricos sino utilizarlos eficientemente.

“Uno de los beneficios alcanzados una vez se ha cumplido todo el proceso de las auditorías tiene que ver con la optimización del consumo energético, lo cual se traduce en una importante reducción de costos para la empresa. Así mismo, aumenta el tiempo de vida de los equipos, ya que se asegura que estos trabajen en las condiciones más adecuadas, evitando sobredimensionamientos o sobrecargas” [32].

#### 2.1 Medición de consumo energético actual

Es importante saber cuál es la potencia instalada en la iluminación de los laboratorios de ingeniería eléctrica y esta se obtiene sumando las cargas de cada uno de los circuitos, por lo cual se procedió a realizar un levantamiento verificado el tipo de luminarias que se encuentran instaladas y su respectiva potencia de funcionamiento.

Las luminarias instaladas en los laboratorios son de tecnología fluorescente en su mayoría, también se cuenta con el laboratorio de microbótica en el que encontramos tecnología incandescente, y cabe notar la implementación de seis luminarias LED en el laboratorio de alta tensión.

Para la medición del consumo eléctrico se utilizó el analizador de calidad de energía FLUKE 430B.

La iluminación al ser una carga lineal simplemente se requirió tomar la medición por una hora con un intervalo de 10 segundos, en las tablas de 2.1 a 2.3 se visualiza el resumen del análisis de la tensión, corriente y potencia.

Fecha: Martes, 11 de marzo de 2014.

Hora: Entre las 18:15:12 hasta 19:15:02.

### 2.1.1 Tensión

Las mediciones revelaron que existe variación en el voltaje que suministra la red, si bien es cierto que está dentro de los parámetros de calidad energética [33], pero es necesario tener en consideración reguladores de voltaje para el óptimo funcionamiento de los diferentes componentes eléctricos y electrónicos.

	Tensión (V) L1N Media	Tensión (V) L2N Media	Tensión (V) L3N Media	Tensión (V) NG Media
Mínima	120,93	120,21	124,17	0,15
Media	123,48	123,11	126,68	0,17
Máxima	124,71	124,79	128,15	0,20

Tabla 2.1 Análisis del comportamiento de la tensión.

Fuente. Propia del autor.

### 2.1.2 Corriente

La corriente es necesario que se encuentre equilibrada en las tres líneas, con esto lograremos un óptimo funcionamiento del sistema, se puede apreciar que la línea 3 tiene más carga que las otras por tal motivo se debería balancear las cargas.

	Corriente (A) L1 Media	Corriente (A) L2 Media	Corriente (A) L3 Media	Corriente (A) N Media
Mínima	28	40	51	3
Media	28	50	51	3
Máxima	29	58	52	9

Tabla 2.2 Análisis del comportamiento de la corriente.

Fuente. Propia del autor.

### 2.1.3 Potencia activa

Dentro de la tabla 2.3 se puede apreciar que la media de la potencia activa es 7.7 kW, la cantidad de energía consumida o entregada recibe el nombre de kilovatio hora o kWh y se obtienen multiplicando la potencia por el tiempo durante el cual trabaja.

Considerando que al día se ocupa un promedio de 4 horas y al mes 21 días, esto da un total de 84 horas al mes. El consumo sería de 646.8 kWh / mes

	<b>Potencia Activa (W) L1N Media</b>	<b>Potencia Activa (W) L2N Media</b>	<b>Potencia Activa (W) L3N Media</b>	<b>Potencia Activa (W) Total Media</b>
<b>Mínima</b>	1400	2700	2900	7000
<b>Media</b>	1400	3300	2900	7700
<b>Máxima</b>	1500	3900	3000	8200

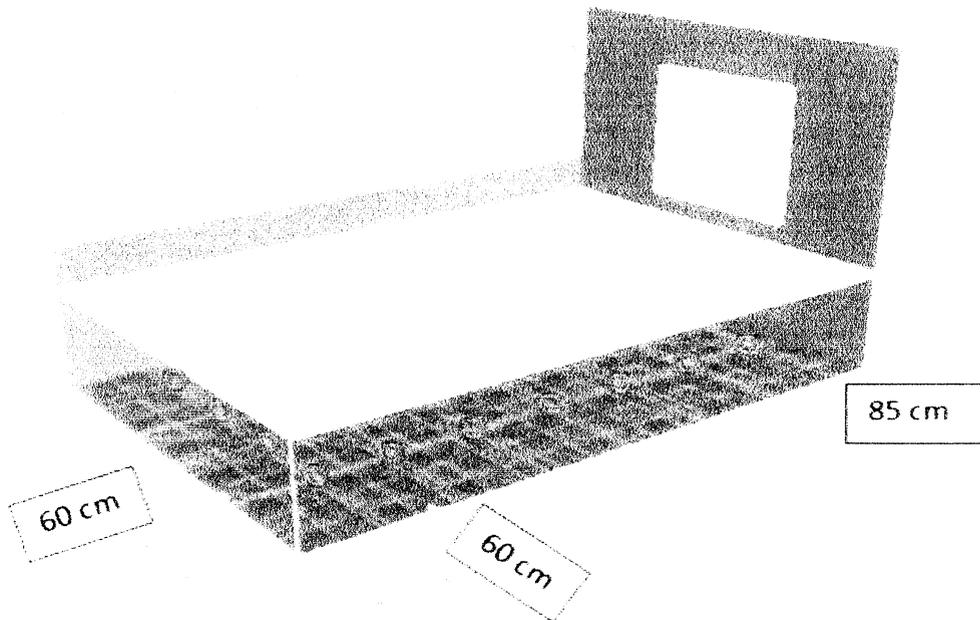
**Tabla 2.3** Análisis del comportamiento de la potencia.

**Fuente.** Propia del autor.

## 2.2 Medición de niveles de luminosidad en los laboratorios

Para cumplir la normativa Europea UNE-EN 12464-1, respecto a la iluminación de los lugares de trabajo interior, es conveniente realizar una evaluación de los actuales niveles de luminosidad en los laboratorios, Por tal motivo es recomendable simular con software y tomar manualmente tres mediciones para tener un bajo margen de error, para la toma de datos se utilizó el luxómetro AMPROBE modelo LM-120.

Las mediciones deben ser tomadas en horario nocturno, puesto que la luz del día nos daría una medición errónea, para la medición se trazó puntos en el plano, la recomendación para la medición manual es dividir al salón en cuadrículas de 60 cm y desde el piso hasta el luxómetro una altura de 85 cm como se muestra en la figura 2.1.



**Figura 2.1** Método para realizar la medición de los niveles de iluminación.

**Fuente.** Propia del autor.

Terminada la medición manual se procedió a tabular los datos, obteniendo la cantidad de iluminación máxima, media y mínima. Y de ellas, el promedio general para realizar las observaciones pertinentes.

Para la simulación se utilizó el software DiaLux y se verifico las luminarias existentes para aproximarnos a la realidad, una observación que se puede hacer es que el programa realiza la simulación sin considerar el desgaste y el polvo.

Como podemos apreciar en las tablas 2.4 hasta la 2.8, se ordenó la información y se obtuvo un promedio entre las mediciones con el luxómetro y los valores que arrojo el software DiaLux, los valores de cantidad de iluminación no cumplen con la normativa Europea UNE-EN 12464-1, respecto a la iluminación de los lugares de trabajo interior. Puesto que en la mayoría de los casos la cantidad de iluminación media no supera los 300 lux como se muestran las figuras 2.2 hasta las 2.6.

	Cantidad de Iluminación	Software	Luxómetro	Promedio
		Lux		
Microbótica	máxima	499	459	479
	media	342	313	328
	mínima	184	131	157
Control y Monitoreo	máxima	635	543	589
	media	436	390	413
	mínima	171	152	162
Máquinas Eléctricas	máxima	626	606	616
	media	393	379	386
	mínima	140	177	158

Tabla 2.4 Niveles de luminosidad Máquinas Eléctricas, Control y Monitoreo, Microbótica.

Fuente: Propia del autor.

### Medición de Niveles de Luminosidad

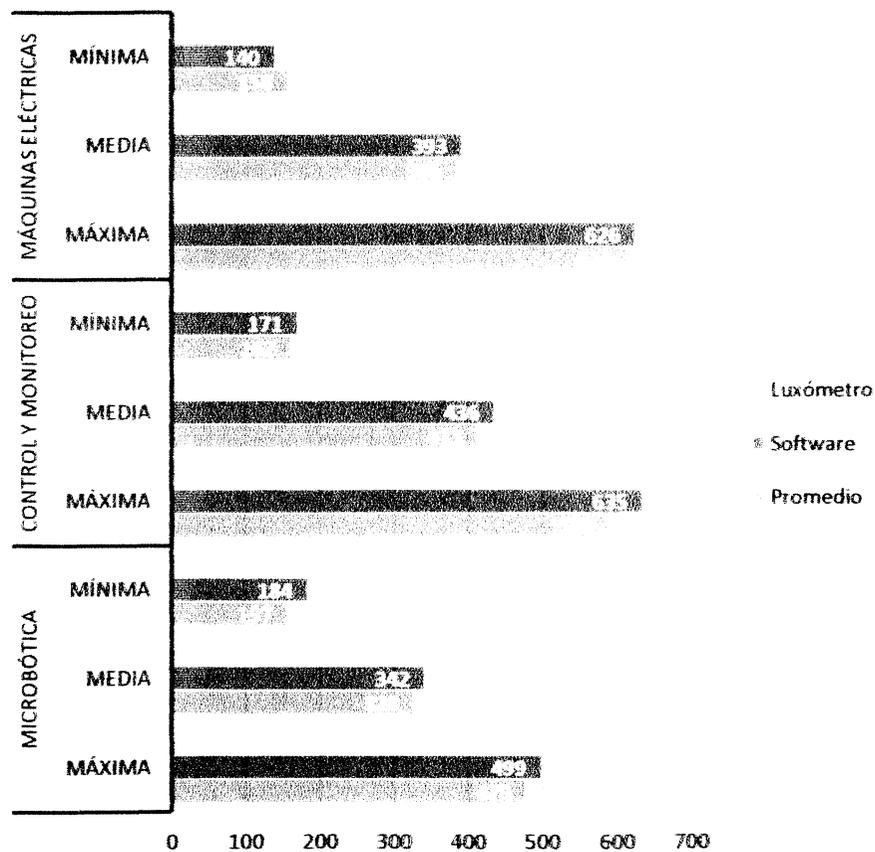


Figura 2.2 Niveles de luminosidad Máquinas Eléctricas, Control y Monitoreo, Microbótica.

Fuente: Propia del autor

	Cantidad de Iluminación	Software	Luxómetro	Promedio
		Lux		
Alta Tensión	máxima	389	474	431
	media	179	230	204
	mínima	14	78	46
Sistemas Electrónicos	máxima	346	317	331
	media	268	237	253
	mínima	145	112	129
Investigación y Proyectos	máxima	383	334	359
	media	289	250	270
	mínima	120	105	113

Tabla 2.5 Niveles de luminosidad Alta Tensión, Sistemas Electrónicos, Investigación y Proyectos.

Fuente. Propia del autor.

### Medición de Niveles de Luminosidad

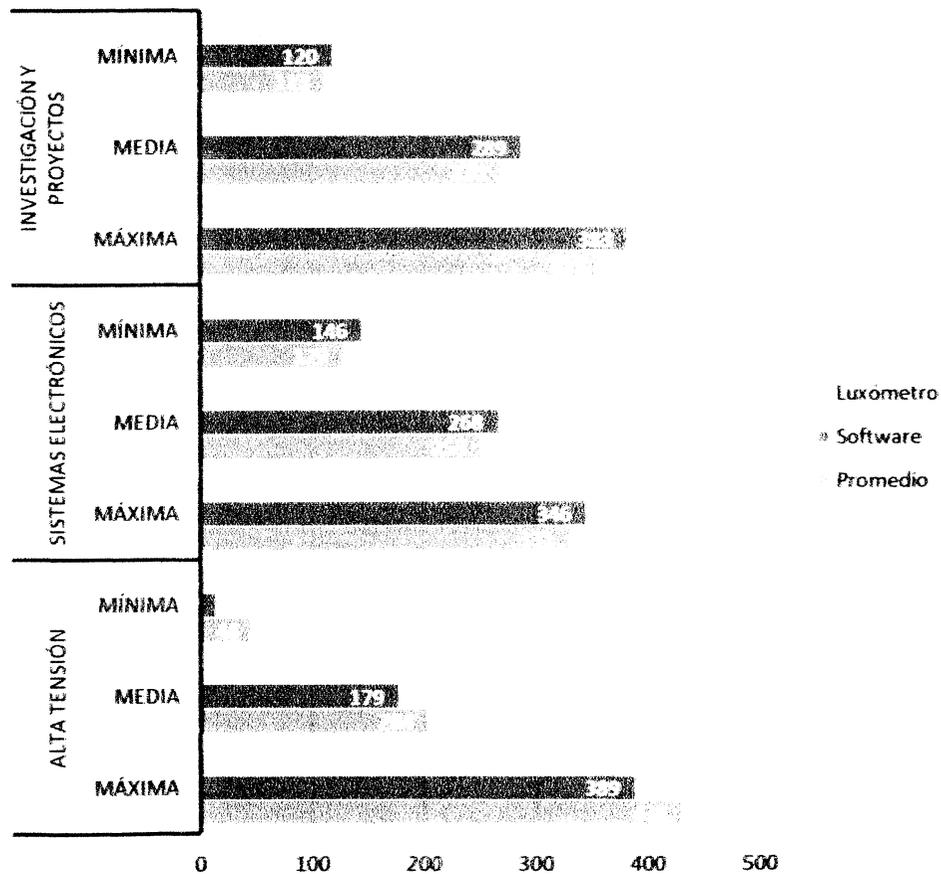


Figura 2.3. Niveles de luminosidad Alta Tensión, Sistemas Electrónicos, Investigación y Proyectos.

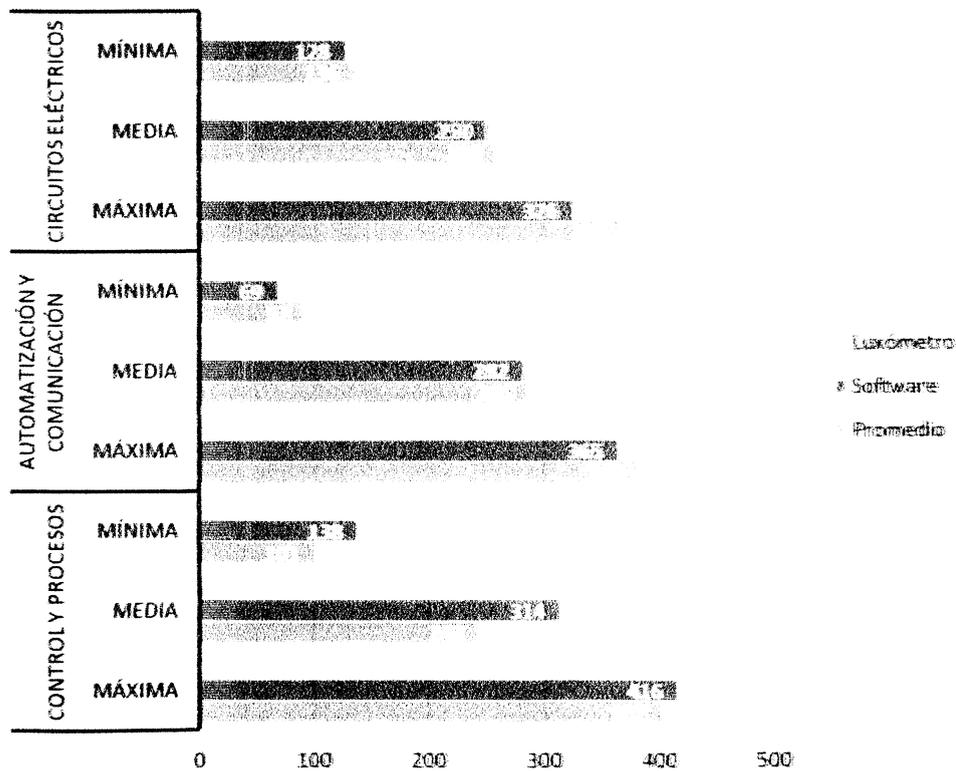
Fuente. Propia del autor.

	Cantidad de Iluminación	Software	Luxómetro	Promedio
		Lux		
Control y Procesos	máxima	416	388	402
	media	314	173	243
	mínima	138	64	101
Automatización y Comunicación	máxima	365	398	382
	media	282	289	285
	mínima	69	114	92
Circuitos Eléctricos	máxima	326	411	368
	media	250	269	259
	mínima	128	144	136

**Tabla 2.6** Niveles de Luminosidad Control y Procesos, Automatización y Comunicación, Circuitos Eléctricos.

Fuente. Propia del autor.

### Medición de Niveles de Luminosidad



**Figura 2.4** Niveles de luminosidad Control y Procesos, Automatización y Comunicación, Circuitos Eléctricos.

Fuente. Propia del autor.

	Cantidad de Iluminación	Software	Luxómetro	Promedio
		Lux		
Electromagnetismo	máxima	340	411	376
	media	264	298	281
	mínima	125	118	121
Instalaciones Civiles	máxima	353	414	384
	media	270	299	285
	mínima	130	121	125
Instalaciones Industriales	máxima	295	344	319
	media	218	205	211
	mínima	92	66	79

Tabla 2.7 Niveles de luminosidad Electromagnetismo, Instalaciones Civiles, Instalaciones Industriales.

Fuente. Propia del autor.

### Medición de Niveles de Luminosidad

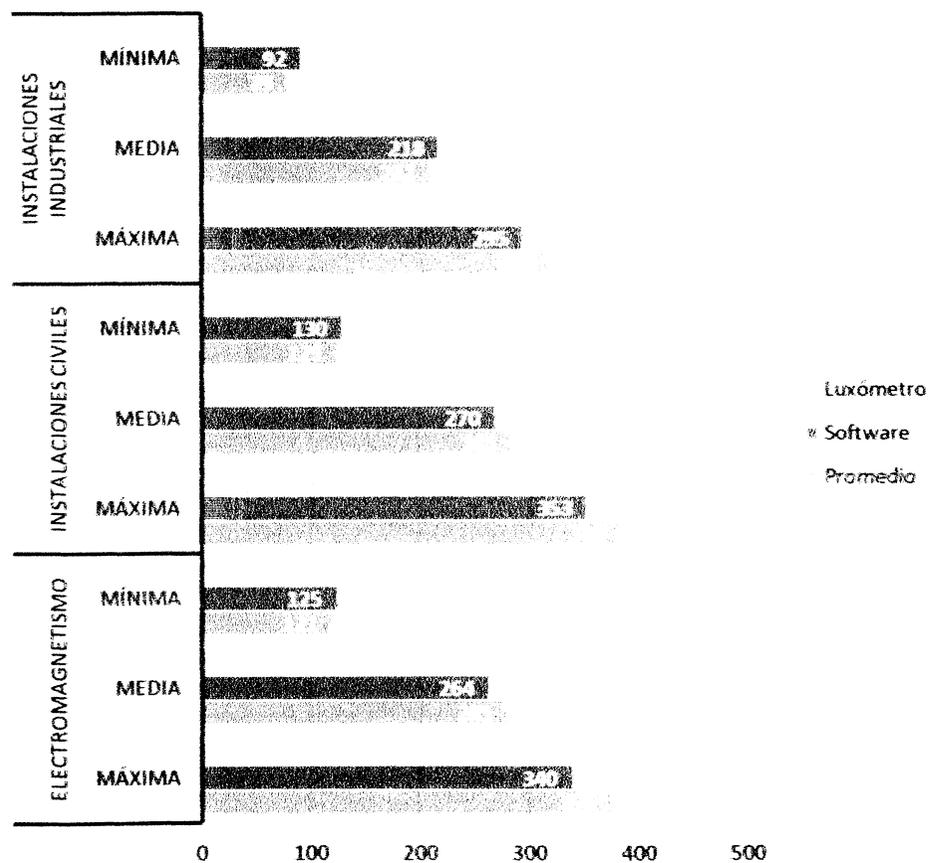


Figura 2.5 Niveles de luminosidad Electromagnetismo, Instalaciones Civiles, Instalaciones Industriales.

Fuente. Propia del autor.

	Cantidad de iluminación	Software	Luxómetro	Promedio
		Lux		
Instrumentación	máxima	601	414	508
	media	446	321	384
	mínima	190	100	145
Pasillos	máxima	269	379	324
	media	152	161	157
	mínima	3	46	24

Tabla 2.8 Niveles de luminosidad Instrumentación, Pasillos.

Fuente. Propia del autor.

### Medición de Niveles de Luminosidad

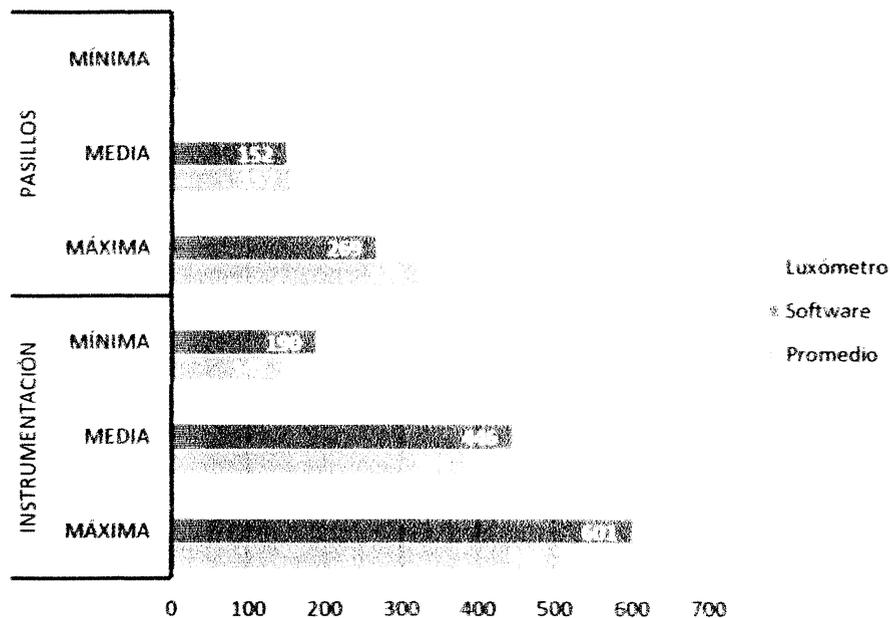


Figura 2.6 Niveles de luminosidad Instrumentación, Pasillos.

Fuente. Propia del autor.

### 2.3 Análisis del sistema de control de iluminación

El actual sistema de iluminación es tradicional, es decir manual con interruptores fijos.

Los avances tecnológicos nos permiten mejorar el control de iluminación haciéndolos inteligentes, la utilización de sensores de movimiento y presencia evitan el consumo innecesario de energía eléctrica por iluminación.

Un sistema automático de control es un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir sin intervención de agentes exteriores (incluido el factor humano) [34].

Un control de mando o una unidad de control centralizado permitirá controlar y supervisar los parámetros de consumo, en éste sistema la comunicación entre elementos pasa por la unidad central [6].

Los modernos sistemas de control poseen tres elementos importantes:

- La Unidad de Control
- Los Sensores
- Los Actuadores

### **2.3.1 La unidad de control**

Es el dispositivo encargado de gestionar la información que recibe del sensor y enviar los datos necesarios hacia los aparatos de salida, se le considera el cerebro pues en su interior tiene un microprocesador que posee una programación previa de algoritmos de control, o modelos matemáticos que utiliza el sistema.

### **2.3.2 Los sensores**

Estos dispositivos están encargados de captar cualquier tipo de cambio físico y transmitir la información a la unidad de control, dependiendo de la programación enviará la ordena los actuadores, los sensores pueden clasificarse por el tipo de detección que éste haga, así que pueden ser binarios o analógicos [35].

Existen diferentes tipos de sensores, en función del tipo de variable que tengan que medir o detectar como lo apreciamos en la figura 2.7 [36].

Dándole un enfoque más profundo a la iluminación los sensores se utilizarán para sentir la presencia y encender o apagar las luminarias.

**Figura 2.7** Tipos de Sensores.

**Fuente.** Propia del autor.

### **2.3.3 Actuadores**

Los actuadores reciben las órdenes de un regulador o controlador y en función a ellas genera la orden para activar un elemento final de control.

Los actuadores se dividen en dos grupos importantes binarios que permiten encendido y apagado de los elementos y analógicos que permiten regular los elementos terminales dentro de estos se encuentran los que permiten regular la intensidad luminosa.

### **2.4 Levantamiento de planos eléctricos de los laboratorios**

Los planos eléctricos son diagramas encargados de representar de manera gráfica circuitos o instalaciones eléctricas, en donde se indica las conexiones entre diferentes elementos que forman parte del diseño. Para lo cual se utiliza simbología eléctrica para identificar conductores, luminarias, tomacorrientes u otros dispositivos eléctricos.

La importancia de los diagramas eléctricos es que son gráficas que representan la relación entre los diferentes elementos de un circuito eléctrico, de esta manera se facilita el estudio, el análisis del problema y la posible solución.

Teniendo en cuenta que algunas instalaciones o circuitos son realmente complicados de representar esquemáticamente, las más utilizadas son dos tipos de esquemas.

- Unifilar: son los que representan en un solo trazo las distintas varios conductores y diferentes símbolos.

En los esquemas o planos unifilares, los conductores están representados por un

único trazo o línea; es decir, una línea con dos rayas pequeñas casi perpendiculares a él, significa que es bifilar y si tuviera tres rayas pequeñas será trifilar, ósea tres conductores

- Multifilar: son los esquemas que representan todos los trazos de conductores en líneas independientes e incluso se cruzan entre ellas para la conexión de cada uno de los elementos.

Dentro de los diseños eléctricos encontramos componentes muy comunes como lo muestra la figura 2.8:



**Figura 2.8** Componentes de un plano eléctrico residencial.

**Fuente.** Propia del autor.

Es necesario realizar el levantamiento de planos eléctricos del funcionamiento actual, como primera falencia encontramos que los circuitos de iluminación están mezclados con circuitos de fuerza.

Para el levantamiento de planos se requirió los planos arquitectónicos, posterior se procedió a verificar los distintos circuitos de iluminación, la distribución de los tableros.

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS Y REDISEÑO DE LOS SISTEMAS

Para el rediseño del sistema eléctrico de los laboratorios de ingeniería eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana campus Kennedy Quito, es importante tener el antecedente de funcionamiento, establecer los puntos vulnerables y las deficiencias; en este caso el sistema de iluminación presenta problemas con los niveles de iluminación ya que no llegan a cumplir la normativa Europea UNE-EN 12464-1, respecto a la iluminación de los lugares de trabajo interior. Por tal razón primero estableceremos el tipo de luminarias y sistema de control a utilizar basados en el criterio de tecnología eficiente. Segundo una simulación por software que permita verificar si la cantidad de luminaria a implementar es adecuada en cantidad y flujo lumínico, y así cumplir con las normativas, ganando confort visual para que el desempeño académico sea el óptimo.

#### 3.1 Rediseño de los sistemas eléctricos de los laboratorios

El rediseño de la iluminación de los laboratorios de Ingeniería Eléctrica, es necesario establecer un proceso como lo muestra la figura 3.1.



**Figura 3.1** Proceso de diseño de iluminación.

**Fuente.** Propia del autor

##### 3.1.1 Análisis del proyecto

Se debe reunir los datos necesarios que permitan determinar cuáles son las demandas visuales y estéticas de iluminación, para establecer los objetivos del proyecto.

La demanda visual dentro de los laboratorios es muy importante ya que como se demuestra en las figuras 2.2 hasta las 2.6, los niveles de luminosidad no son los adecuados para un establecimiento de educación nocturno. En cuanto a la estética es para definir una parte específica a iluminar pero en este caso es importante la iluminación total y en especial los puestos de trabajo. Es muy importante la documentación técnica que pueda proveer el interesado, pero no obstante es necesario realizar una inspección visual, esto permitirá verificar y comprobar los datos técnicos, ya que siempre hay detalles difíciles de percibir en planos.

### **3.1.2 Planificación básica**

Posterior a tener la información técnica, puede establecer características de diseño que cumpla la demanda de luminosidad exigida por la normativa Europea UNE-EN 12464-1, respecto a la iluminación de los lugares de trabajo interior.

Sin precisar ningún aspecto específico, pero considerando la luz natural, es bueno plantear varias alternativas de ejemplos de diseños [25] o de experiencia del diseñador.

Ya que en los laboratorios el techo tiene una forma de media bóveda y a su vez tiene una altura en la parte baja de 3.9 m y en la más alta 8 m aproximadamente, la mejor opción es un alumbrado general.

### **3.1.3 Diseño detallado**

Se debe establecer los aspectos específicos como: luminarias, control, alimentación y los cálculos que conllevan al diseño. Por ende se menciona una memoria descriptiva que permitirá tener la idea clara de todo lo que conlleva un diseño.

#### **3.1.3.1 Sistema de iluminación:**

El rediseño de la iluminación de los laboratorios de Ingeniería Eléctrica de la UPS.

Para el diseño de los circuitos se ha fijado la carga máxima por circuito en 1000 W, empleándose como mínimo conductor el # 12 AWG flexible, instalados dentro de tubería EMT de 3/4" en partes rectas y en partes inclinadas la colocación de manguera BX de 3/4" recubierta, a efecto de conseguir una caída de tensión máxima del 3% de la tensión nominal, desde el centro de carga correspondiente hasta la salida más lejana.

Los controles se efectuarán mediante el empleo de interruptores de pared y transmisores Z-Wave, ubicados en las entradas de los laboratorios y en los pasillos en lugares estratégicos para su activación, como se apreciará en la sección 3.4.

Para el presente proyecto se realizó un estudio luminotécnico bajo las normativas de **Iluminación en lugares de trabajo interior la norma UNE-EN12464-1**, para analizar los usos y requerimientos del espacio y determinar los niveles de iluminación adecuados.

A continuación en la tabla 3.1 se detalla la cantidad de luminarias a utilizar y la ubicación.

LABORATORIO	TIPO DE LUMINARIA	
	LED tipo campana	Tube LED 20w T8
Microbótica	3	
Control y monitoreo	3	
Máquinas eléctricas	3	12
Alta tensión	3	12 (existentes)
Sistemas electrónicos	3	
Investigación y proyectos	3	
Control y procesos	3	
Automatización y comunicación	3	
Circuitos eléctricos	3	
Electromagnetismo	3	
Instalaciones civiles	3	
Instalaciones Industriales	3	
Instrumentación		36
Pasillos		28
<b>TOTALES</b>	<b>36</b>	<b>88</b>

**Tabla 3.1** Cantidad de luminarias por ubicación.

**Fuente.** Propia del autor.

El detalle de la ubicación y tipo de luminarias utilizadas, así como las características de los circuitos previstos para su alimentación y control, se muestran en los planos respectivos. Cabe destacar que los niveles de iluminación calculados se obtendrán siempre y cuando se instalen las luminarias especificadas en dichos planos.

El alimentador principal saldrá del Tablero de Distribución Principal (TDP) ubicado en el laboratorio de investigación y proyectos hacia un tablero SquareD, trifásico de 20 puntos con protecciones de 20A, que se ubicará en el mismo laboratorio.

### **3.1.3.2 Materiales y disposiciones para la construcción:**

Los planos de instalaciones realizados son esquemáticos e indicadores del trabajo a efectuarse y, aunque trata de dar dentro de lo posible la situación exacta de los diferentes elementos, el contratista deberá consultar los planos arquitectónicos, estructurales y otras indicaciones para determinar la situación exacta de los diferentes elementos a instalar en cada área.

En esta sección se señalan las especificaciones generales de los materiales a utilizarse para la ejecución total del proyecto, por lo tanto se debe consultar la lista de materiales, para establecer las dimensiones correspondientes de los mismos.

Los trabajos serán realizados bajo la supervisión de un Ingeniero Eléctrico, el mismo que al finalizar la obra entregará la debida constancia de que los trabajos fueron ejecutados de acuerdo con los planos.

Cuando en los planos y/o especificaciones se indique un determinado material, equipo, aparato, u otro elemento, detallándose el número del catálogo del fabricante, debe entenderse que tal designación se proporciona con la finalidad de establecer estándares de calidad y estilo deseados por el proyectista, los cuales deben ser estrictamente respetados para lograr los efectos perseguidos por éste.

Queda entendido que dichos materiales sustitutivos deberán cumplir en su totalidad con las especificaciones de los materiales originales.

En todo caso, los materiales y equipos a utilizarse para la construcción deberán ser de primera calidad, encomendándose las labores de instalación y montaje de los mismos a personal calificado, bajo la supervisión y fiscalización técnica correspondientes de un profesional de ingeniería eléctrica.

#### **3.1.3.2.1 Tuberías y canaletas**

Los conductores del sistema eléctrico se instalarán en algunos casos dentro de tuberías conduit metálicas livianas del tipo EMT y en otros casos manguera BX recubierta de PVC, con uniones y conectores de tornillo.

Los diámetros de las tuberías están específicamente señalados en los planos de distribución eléctrica, correspondiente a cada área; cuando no se lo indica significa que la tubería es de 19 mm de diámetro interior con tres conductores THHN # 12 AWG para instalaciones de iluminación, considerando un calibre inferior para tierra.

El montaje de la tubería se realizará de la siguiente forma:

- Los tramos de tubería deberán ser continuos entre cajas de salida, tableros, cajas de conexión, etc. Y empalmados en forma adecuada con conectores de tubo a caja.
- No se permitirán más de tres curvas de 90 grados, o su equivalente, en cada tramo de tubería entre cajas.
- Los cortes de tubería deben ser perpendiculares al eje longitudinal y eliminado todo residuo que pudiera quedar por el corte.
- Antes de proceder a pasar los conductores, se deberán limpiar perfectamente la tubería, las cajas y los tableros.
- Todas las tuberías eléctricas deberán instalarse separadas de otras instalaciones, principalmente de aquellas que pueden elevar la temperatura de los conductores.
- Todas las tuberías deben colocarse de tal manera que no soporten esfuerzos mecánicos.
- Circuitos de iluminación sin pintura.

### **3.1.3.2.2 Conductores**

Se instalará un sistema completo de conductores para alimentar todos los circuitos, según se indica en los planos de cada área. Todos los conductores a utilizarse serán de cobre, con las siguientes características:

a) Para circuitos eléctricos derivados: Con aislamiento tipo THHN para 600 V, # 12 AWG flexible los de mayor calibre, la sección mínima a emplearse será # 14 AWG para tierra.

b) Para alimentadores eléctricos: Con aislamiento THHN para 600 V, todos deberán ser cableados.

Por ningún concepto se permitirán empalmes de conductores dentro de una tubería, todos los empalmes se efectuarán dentro de las cajas de conexión y de tal manera que se obtenga un buen contacto eléctrico y mecánico, empleando conectores adecuados.

En las cajas de salida se dejará un exceso de conductor de 20 cm de longitud para permitir una fácil conexión de lámparas y accesorios.

Todos los circuitos deben tener un conductor para la puesta a tierra, que deberá en lo posible tener aislamiento de color verde.

Al hacer un empalme o conexión se deberán tener en cuenta los siguientes puntos:

- a) La resistencia mecánica de los terminales conectados debe ser equivalente a la del conductor.
- b) El empalme o terminales deberán asegurar una conductividad eléctrica equivalente al del conductor considerado en una sola pieza.
- c) La rigidez dieléctrica del aislamiento debe ser al menos igual a la del aislamiento del conductor original.

Se respetará el código de colores existente y en lo posible deberán ser:

- Blanco para conductor neutro.
- Negro o azul para las fases.
- Amarillo o rojo para usos especiales tales como retorno de interruptor.
- Verde para tierra.

No se permitirá instalar los conductores de ningún circuito, ni parte del mismo, sino está terminada y aceptada totalmente la instalación de la tubería correspondiente.

#### **3.1.3.2.3 Luminarias**

Las lámparas previstas a utilizarse para la iluminación interior de cada área, y cuyas especificaciones técnicas se indican posteriormente, son:

- Campana LED (HIGH BAY) 200W/90° LEDEX
- Tubo LED T8 high power 6000K 20W 100-240V LEDEX

Para los circuitos de iluminación se utilizarán cables de cobre, tipo THHN # 12 AWG, flexible, instalados dentro de tubería EMT o manguera BX recubierta con PVC.

#### **3.1.4 Asistencia técnica**

En caso de presentarse algún cambio con respecto al diseño original o replanteo en soluciones luminotécnicas, el diseñador puede dar asistencia técnica durante la ejecución de la obra.

### 3.1.5 Evaluación posterior

Es el análisis del proyecto en aspectos técnico-económicos y fundamentalmente en el grado de aceptación de los usuarios, también implica los parámetros luminotécnicos proyectados mediante mediciones fotométricas.

### 3.2 Simulación de software DiaLux

DiaLux es un software completo para crear proyectos de iluminación profesionales, tiene como objetivo dar una visualización en 3D virtual, de cómo quedarían instaladas las luminarias de nuestra preferencia en diferentes escenarios y documenta los resultados de los diseños de iluminación en visualizaciones foto realistas impresionantes. Por tal motivo es necesario realizar las modelaciones de los laboratorios, la primera parte es darle las medidas al local, posterior introducimos paredes puertas y ventanas, y finalmente mueblerías y detalles como se muestra en la figura 3.2.

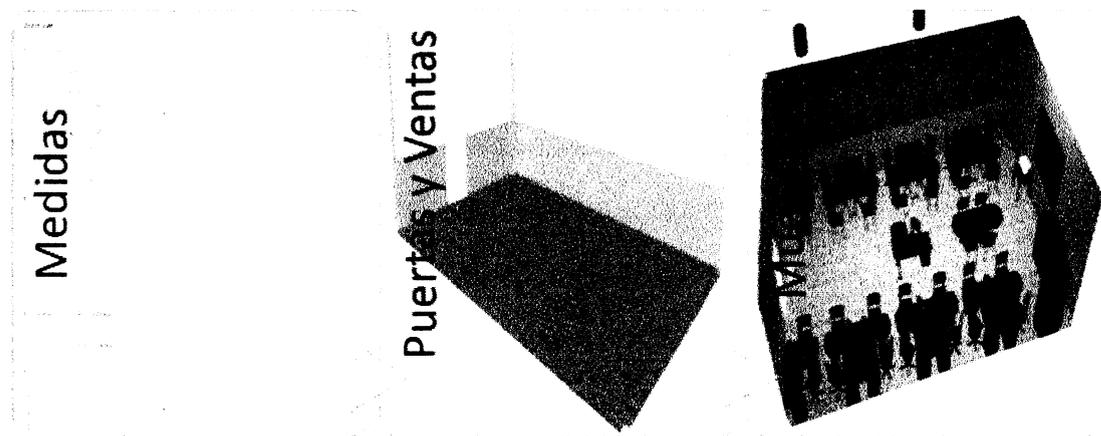
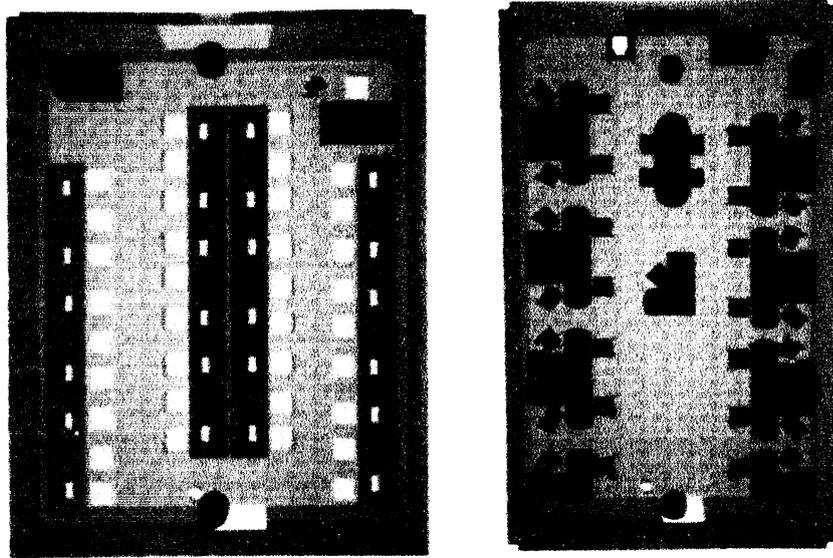


Figura 3.2 Proceso del modelamiento en 3D.

Fuente. Propia del autor

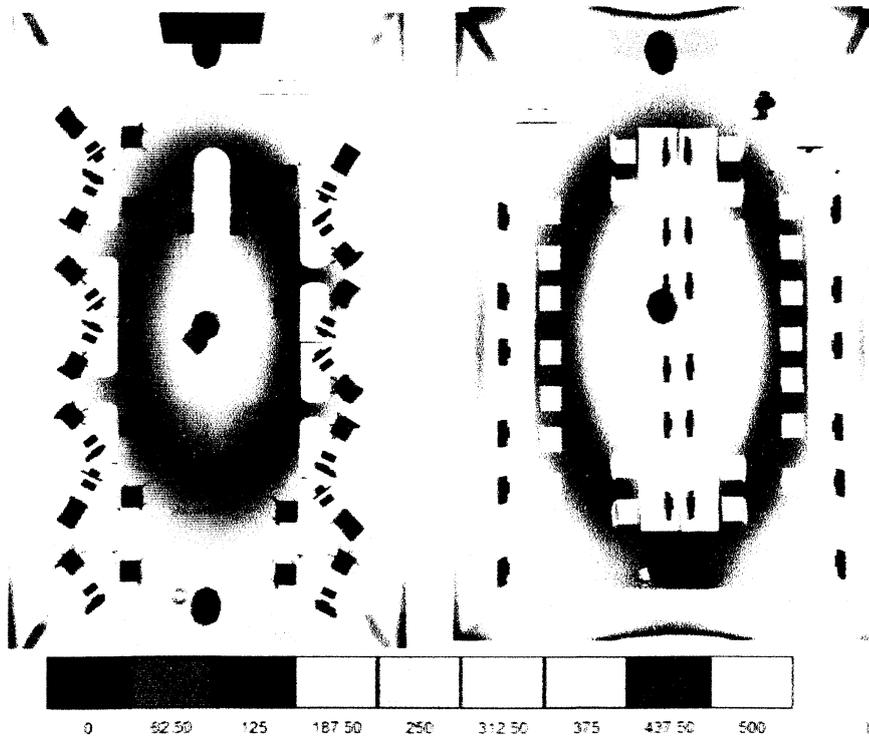
Para la selección de luminarias se analizaron entre varias opciones, considerando adecuada la campana LED (HIGH BAY) 200W LEDEX como se muestra en la modelación de la figura 3.3 y los tubos LED T8 6000K 20W. Así con las curvas fotométricas de las mencionadas luminarias se procedió a realizar la simulación asignándole la cantidad necesaria en cada laboratorio.



**Figura 3.3** Representación en 3D de los laboratorios de Microbótica e Investigación y Proyectos.

**Fuente.** Propia del autor

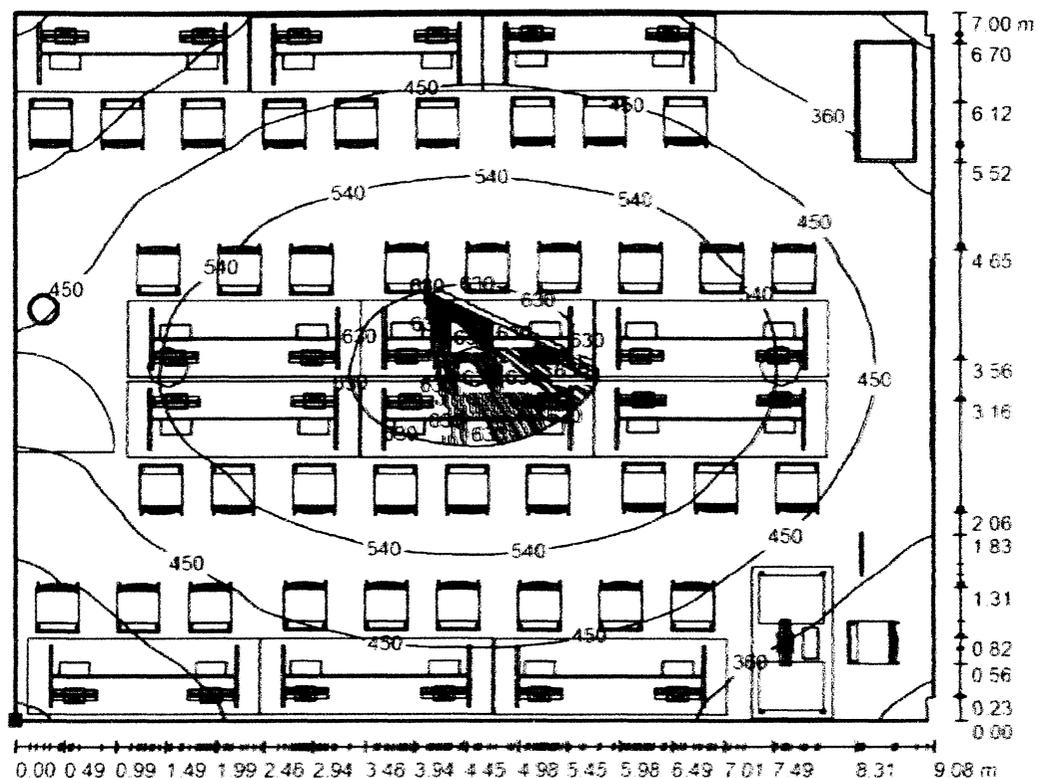
En la figura 3.4 podemos observar la representación de los laboratorios en colores falsos, en esta opción se puede distinguir la cantidad de luminosidad, en la parte inferior de la gráfica podemos observar una barra de colores con niveles de luminosidad.



**Figura 3.4** Representación en colores falsos de los laboratorios de Microbótica e Investigación y Proyectos.

**Fuente.** Propia del autor

Y otro resultado muy importante es el luminotécnico/ isolíneas que se puede apreciar la cantidad luminosa, también nos presenta los valores máximo, mínimo y medio como se observa en la figura 3.5 y 3.6.



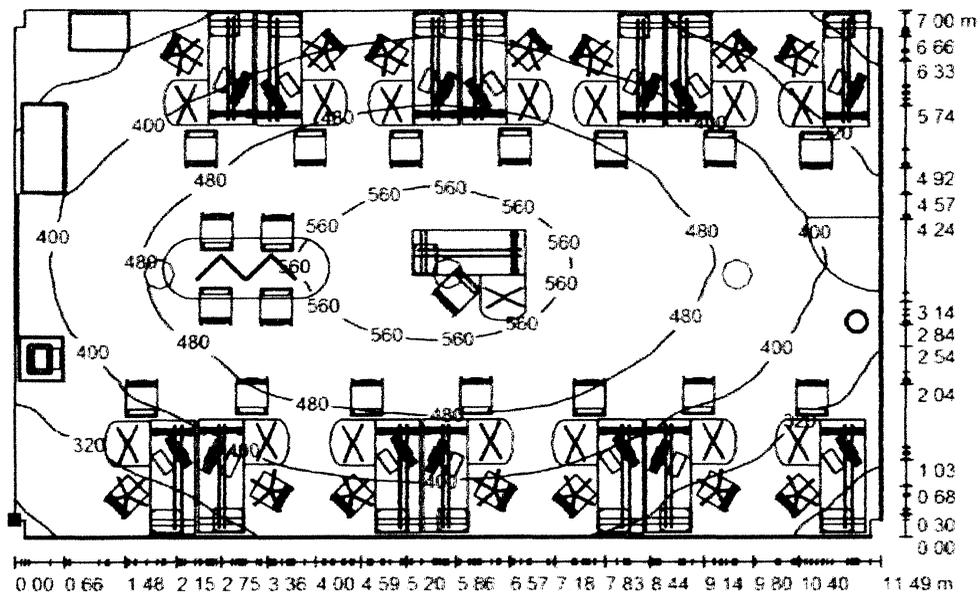
Trama: 128 x 128 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{máx.}$ [lx]
474	253	654

**Figura 3.5** Resultados luminotécnicos/isolíneas del laboratorio de Microbótica.

**Fuente.** Propia del autor

En este resultado el valor de  $E_m$  se encuentra en un valor aceptable y se mantiene esa constante o superior en los lugares de trabajo, sabiendo que lo óptimo para las aulas nocturnas es de 500 lux.



Trama: 128 x 128 Puntos

$E_m$  [lx]                       $E_{min}$  [lx]                       $E_{max}$  [lx]  
 424                                      204                                      594

Figura 3.6 Resultados luminotécnicos/isocintas del laboratorio de Investigación y Proyectos.

Fuente. Propia del autor

### 3.3 Análisis comparativo de luminosidad de las actuales instalaciones con el rediseño

Para el análisis es conveniente tomar en cuenta las fichas técnicas de las luminarias actuales y las proyectadas como se aprecia en la tabla 3.2 la tecnología incandescente tiene baja eficiencia energética y alto consumo comparada con otras tecnologías, las fluorescentes muestran un mejor flujo luminoso pero a medida que pasa el tiempo puede decaer y presentar parpadeos que molesten la visión.

	Incandescente		Fluorescente		LED	
Potencia (W)	60	100	32	40	200	20
Vida útil (horas)	1000	1000	24000	9000	>50000	40000
Flujo Luminoso (Lm)	820	1560	2950	2500	22000	2200
Eficiencia Luminosa (Lm/W)	13,67	15,6	92,18	63	110	110
Dimeable	SI	SI	NO	NO	SI	NO

Tabla 3.2 Datos técnicos de las luminarias

Fuente. Propia del autor.

Por tal motivo se cree conveniente colocar luminarias tipo campana LED de 200W, como se visualiza en la tabla 3.3, la tecnología LED nos permite un bajo consumo energético, un alto flujo luminoso, el índice de reproducción cromática (CRI) >90% y larga vida útil superior a las 50000 horas [37].

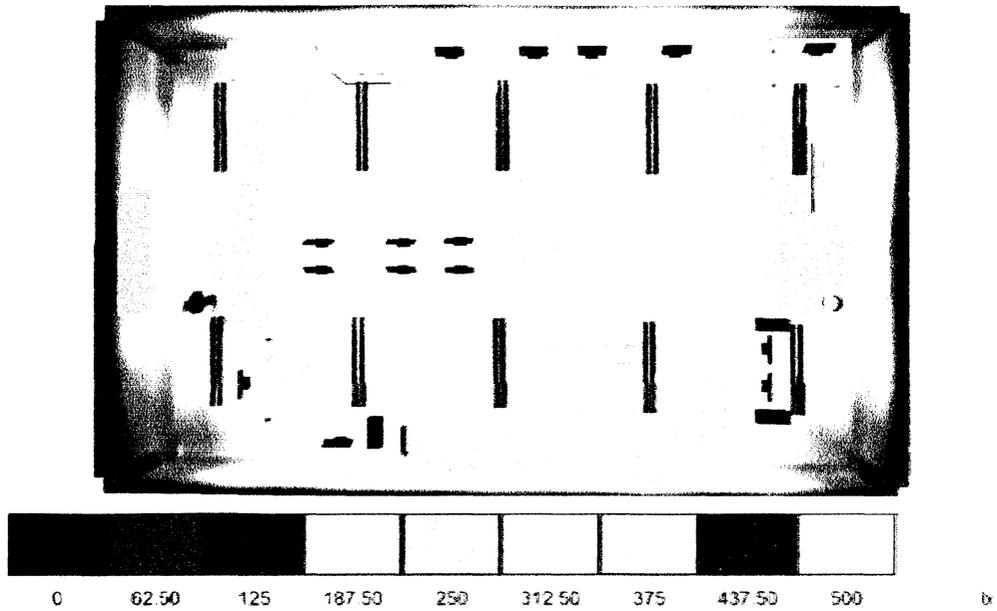
Para corredores y ciertos lugares donde la altura máxima es de 3.9m es conveniente colocar luminarias LED tipo fluorescentes.

ÍTEM	200 W LED
Potencia (W)	200W
Perdidas	11W
Potencia total (W)	211W
Consumo en kW.h	0.211 kWh
Corriente (a 240V)	0.83 A
Flujo luminoso (lúmenes)	22000
Aprovechamiento flujo luminoso (eficiencia)	95%
Lúmenes de salida de la luminaria	20,900
Angulo	90 GRADOS
Encendido	INSTANTANEO
Índice de reproducción cromática (CRI)	>90%
Factor de potencia (PF)	>0.98
Dimeable (con cambio de driver)	SI
Horas de vida	>50000 h
Amigable con el medio ambiente	SI
Estabilización de flujo luminoso en 2000 horas.	>98%
Ahorro de energía/dinero	SI
Disipación de calor	MUY BUENA

**Tabla 3.3** Especificaciones técnicas luminaria campana LED (HIGH BAY) 200W/90° LEDEX.

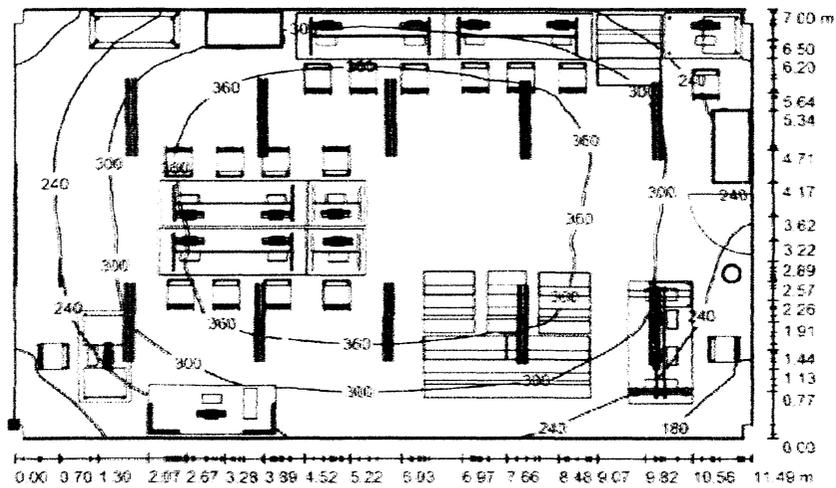
**Fuente.** Marriott Almacenes

Una manera de comparar las luminarias actuales con las proyectadas es realizar una simulación en el software DiaLux bajo las mismas condiciones. Para la comparación tomaremos en cuentas dos laboratorios el primero de Control y Procesos, las instalaciones actuales presentan los valores mostrados en las figuras 3.7 y 3.8, resaltando que tiene un flujo luminoso mediano de 314 lx que se encuentra debajo de lo mínimo requerido por las normativas de Iluminación en lugares de trabajo interior la norma UNE-EN12464-1



**Figura 3.7** Representación actual en colores falsos del laboratorio de Control y Procesos.

**Fuente.** Propia del autor



Trama: 125 x 125 Puntos

$E_{av}$  [lx]  
314

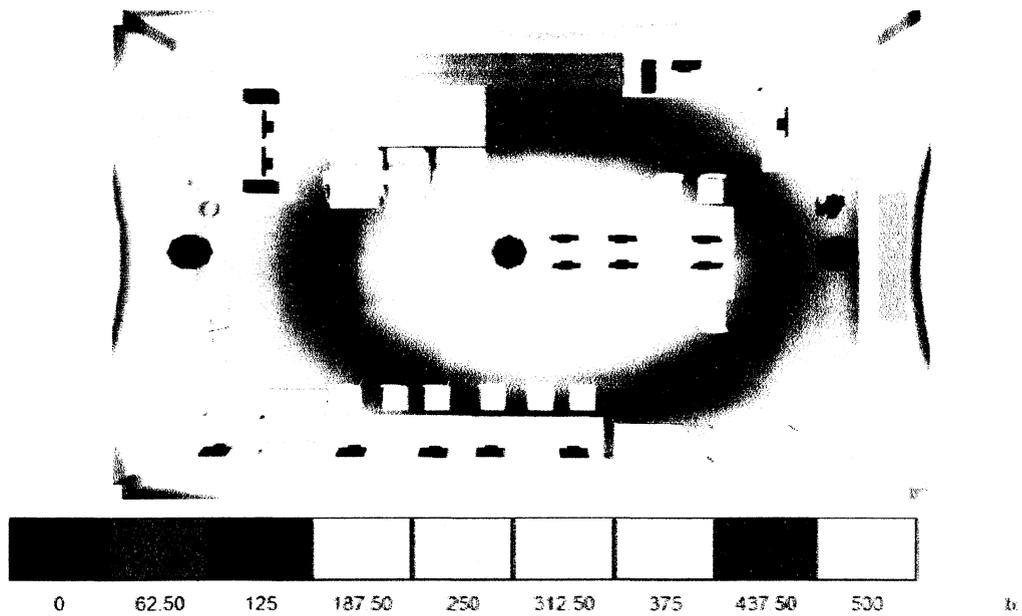
$E_{min}$  [lx]  
139

$E_{max}$  [lx]  
416

**Figura 3.8** Resultados actual luminotécnicos/isolneas del laboratorio de Control y Procesos.

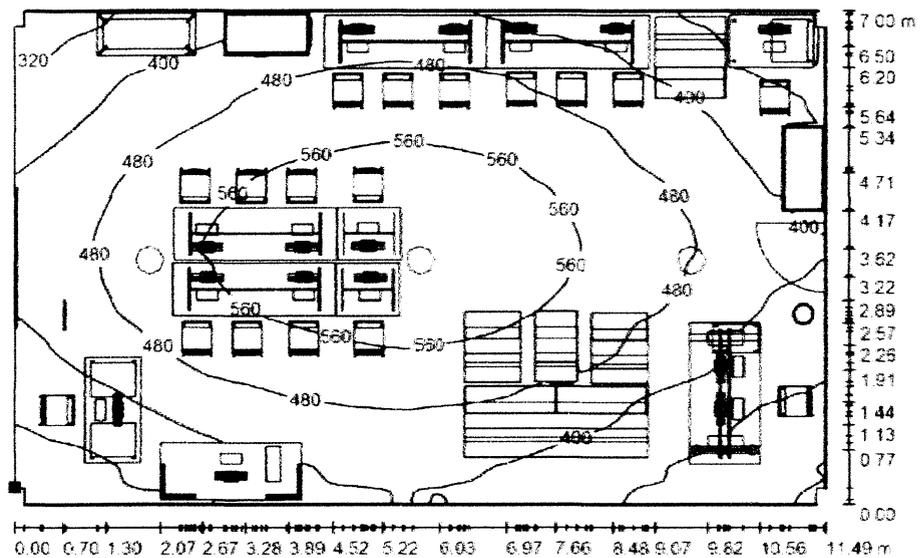
**Fuente.** Propia del autor.

Los resultados de las instalaciones proyectadas mostradas en las figuras 3.9 y 3.10, indican que tenemos un flujo luminoso medio de 457 lx, es decir 143 lx más que las actuales y nos encontramos dentro del rango permitido para instalaciones de educación nocturnas.



**Figura 3.9** Representación proyectada en colores falsos del laboratorio de Control y Procesos.

Fuente. Propia del autor.



Trama: 128 x 128 Puntos

$E_m$  [lx]  
457

$E_{m,r}$  [lx]  
228

$E_{m,max}$  [lx]  
628

**Figura 3.10** Resultados proyectado luminotécnicos/isolíneas del laboratorio de Control y Procesos.

Fuente. Propia del autor.

En el segundo caso es el laboratorio de electromagnetismo en las instalaciones actuales presentan los valores mostrados en las figuras 3.11 y 3.12, resaltando que tiene un flujo luminoso mediano de 264 lx.

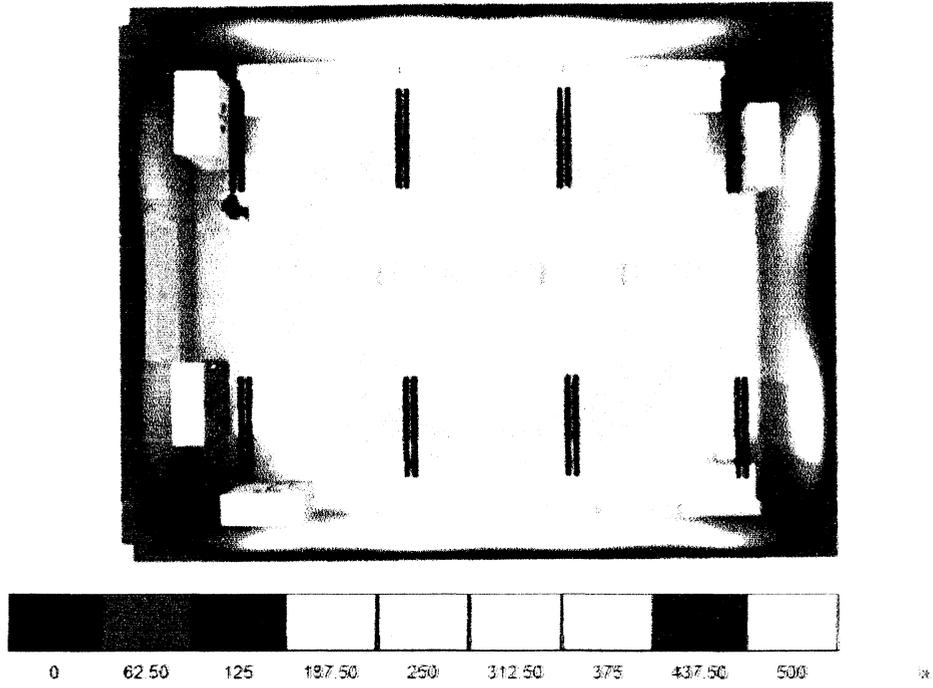


Figura 3.11 Representación actual en colores falsos del laboratorio de Electromagnetismo.

Fuente. Propia del autor

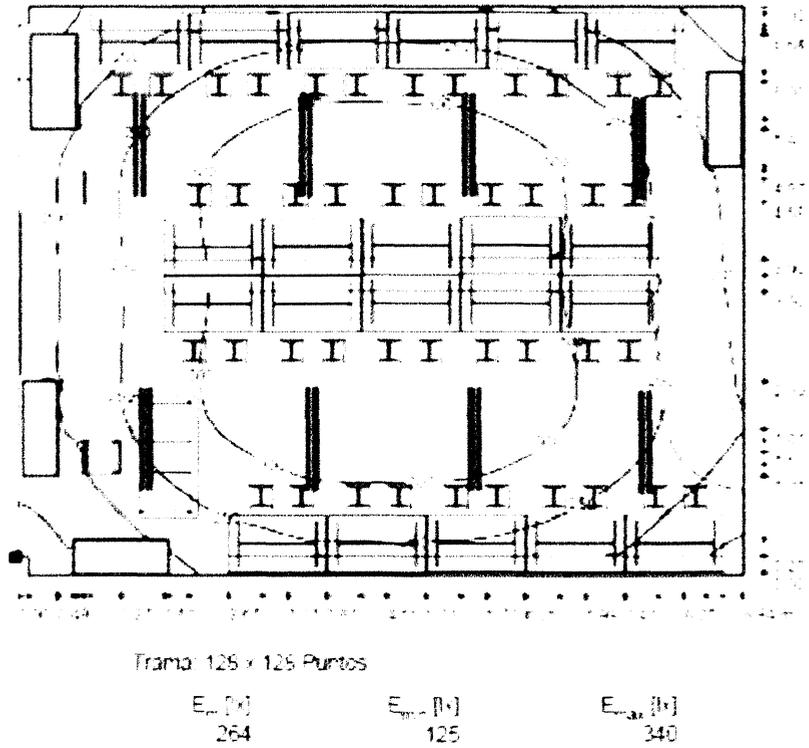


Figura 3.12 Resultados actual luminotécnicos/isolineas del laboratorio de Electromagnetismo.

Fuente. Propia del autor.

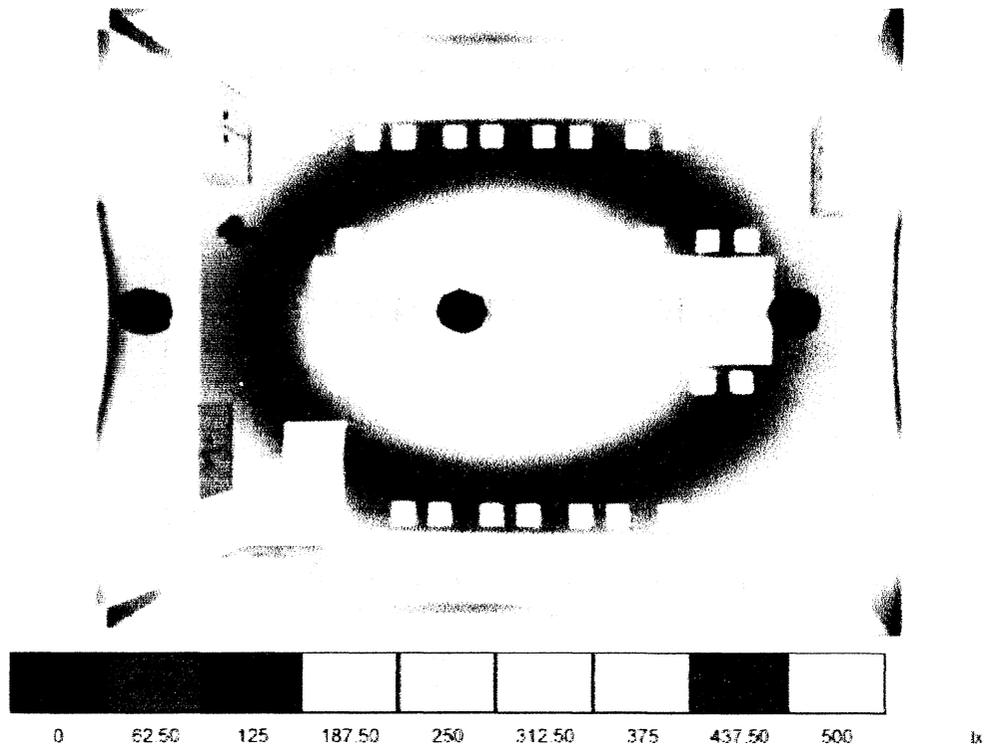


Figura 3.13 Representación proyectada en colores falsos del laboratorio de Electromagnetismo.

Fuente. Propia del autor.

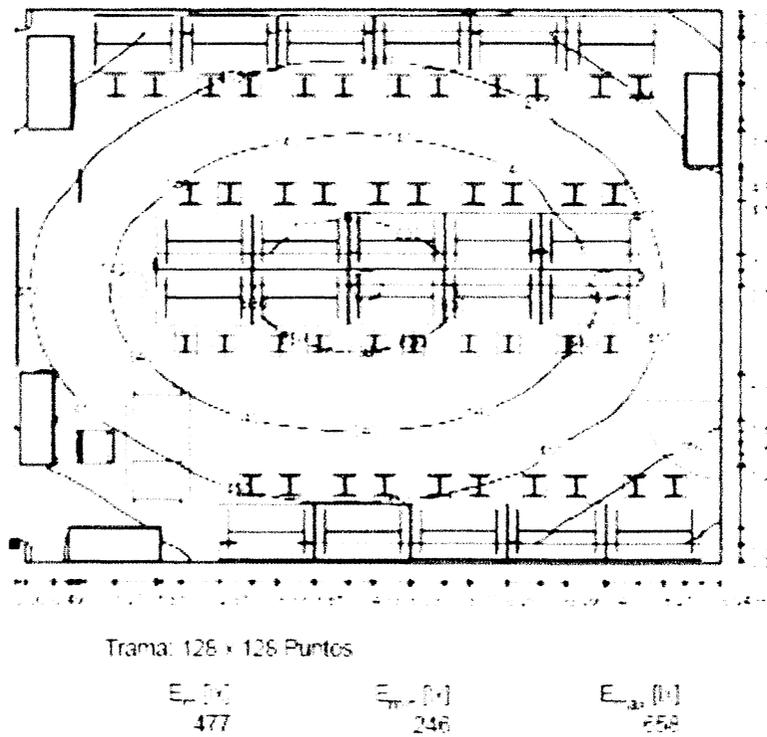


Figura 3.14 Resultados proyectados luminotécnicos/isoliesas del laboratorio de Electromagnetismo.

Fuente. Propia del autor.

Los resultados de las instalaciones proyectadas del laboratorio de electromagnetismo mostradas en las figuras 3.13 y 3.14, indican que tenemos un flujo luminoso medio de 477 lx, es decir 213 lx más que las actuales. Otro aspecto que resaltar es que la potencia proyectada es de 600W y que cumple con el flujo de luminosidad requeridos, mientras que las actuales presentan potencias instaladas de 800W en el primer caso y 640W en el segundo, y no cumplen con el flujo lumínico necesario según la normativa de Iluminación en lugares de trabajo interior la norma UNE-EN12464-1.

Con detalle podemos observar las proyecciones en la figura 3.15, donde el flujo medio proyectado es superior al que se encuentra instalado en la actualidad, esto garantizará un confort visual para profesores y estudiantes.

### ANÁLISIS COMPARATIVO FLUJO LUMINOSO MEDIO

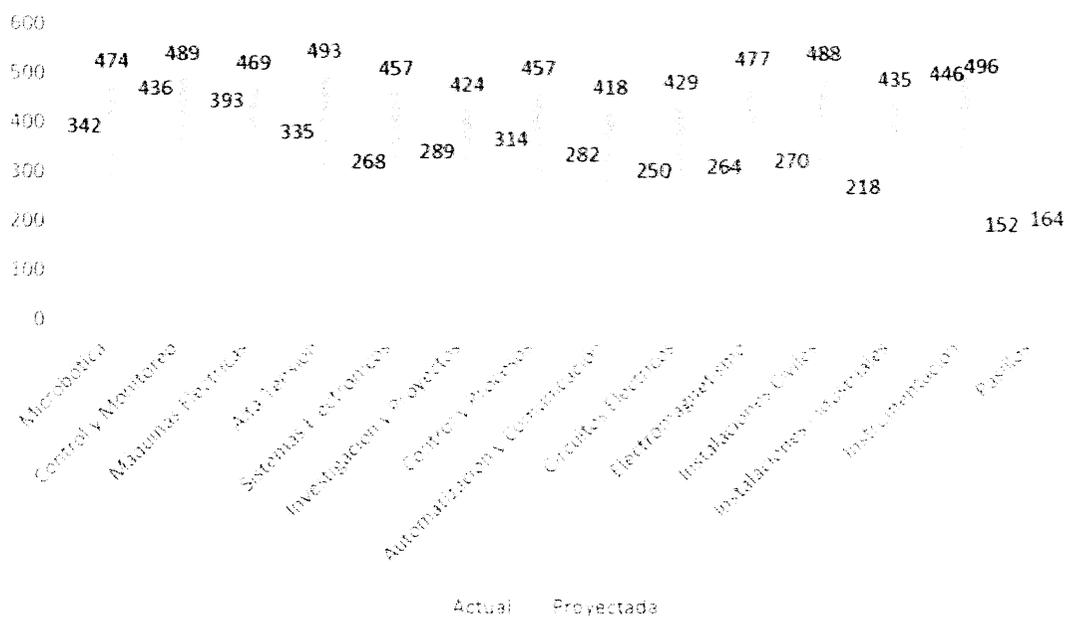


Figura 3.15 Análisis comparativo del flujo luminoso medio.

Fuente. Propia del autor.

#### 3.4 Diseño del sistema de control utilizando comunicación inalámbrica

Anteriormente, los controles de iluminación se usaban para dar flexibilidad; en la actualidad su principal aplicación es el ahorro de energía. La clave para la aplicación correcta de estos controles no solo consiste en la selección del dispositivo apropiado, sino también de la planeación cuidadosa de dónde y cuándo se necesita el control.

En la sección 1.3 analizamos varias opciones de sistemas de control y comunicación; la escogida fue la tecnología Z-Wave, es un ecosistema inalámbrico de nueva generación, ésta permite que todos los equipos electrónicos del hogar se comuniquen entre sí. Utiliza ondas de radio de bajo consumo que transmite a través de paredes y pisos. En la tabla 3.4 podemos observar las características relevantes de la tecnología Z-Wave, los motivos para seleccionarla fueron: su alcance, su tipo de transmisión punto a punto y el hecho de no presenta interferencias con WLAN.

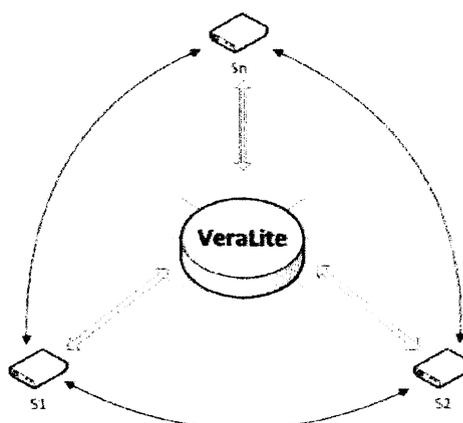
<i>Frecuencia</i>	<i>Tasa de Transferencia</i>	<i>Alcance</i>	<i>Aplicaciones</i>	<i>Modulación</i>	<i>Interferencias con WLAN</i>	<i>Número max dispositivos en malla</i>
908.42 Mhz	9,6/40 kbps	30 m	Domótica, Seguridad	GFSK	no	232

**Tabla 3.4** Especificaciones técnicas de Z-Wave.

**Fuente.** Propia del autor.

Z-Wave unifica todos los aparatos electrónicos en una red inalámbrica integrada, sin necesidad de programación complicada o cableado.

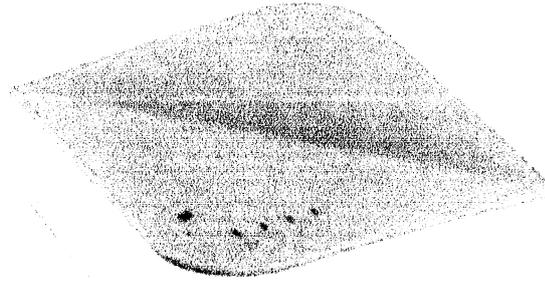
Cualquier dispositivo Z-Wave puede ser fácilmente añadido a esta red, y muchos dispositivos "que no son Z-Wave" pueden ser compatibles con sólo conectarlos a un módulo de accesorios Z-Wave. En cuestión de segundos, el dispositivo se une a la red y puede comunicarse inalámbricamente con otros módulos y controladores. La topología que utiliza es punto a punto una estructura en la que al menos existen dos caminos como lo muestra la figura 3.16.



**Figura 3.16** Topología de Z-Wave.

**Fuente.** Propia del autor

VeraLite es un controlador maestro del sistema Z-Wave, que permite un fácil control sobre iluminación, cámaras, cerraduras de puerta y sistema de alarma. Es flexible y permite controlar con una Tablet o un Smartphone, desde cualquier lugar del mundo siempre que se tenga acceso a internet. Permite crear un poderoso, eficiente y rentable sistema domótico que es fácil de usar y de implementación sencilla. Tiene forma de hoja como se muestra en la figura 3.17.



**Figura 3.17.** VeraLite controlador maestro Z-Wave.

**Fuente:** [www.getvera.com/controllers/veralite/](http://www.getvera.com/controllers/veralite/)

La ubicación de los elementos de control de iluminación se encuentran perfectamente ubicados, el alcance de transmisión de Z-Wave es de 30 m, considerando las paredes de concreto u otros obstáculos la atenuación puede ir desde el 30 al 90% [38], asumiendo que tenemos una atenuación de señal del 50% deducimos que el alcance efectivo es de 15 m, en la figura 3.18 podemos observar el alcance que tiene cada dispositivo, y que la transmisión abarca toda el área de control, puesto que se colocó en cada laboratorio un interruptor sin embargo se tomó previsión de colocar dos repetidoras o toma corrientes que ayudarán a transmitir las señales rodeando las paredes.

**Figura 3.18** Distribución de señales inalámbricas Z-Wave.

**Fuente.** Propia del autor

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados obtenidos por medición, simulación o visualización. Son importantes medios que permitirán llegar a una eficiencia energética, para la Universidad Politécnica Salesiana y en especial para la carrera de Ingeniería Eléctrica, la optimización de recursos tiene muchos beneficios como económicos, ambientales y estar a la vanguardia tecnológica.

Para llegar a obtener estos resultados es importante tener los datos exactos de consumo actual así como de consumo proyectado, así se puede estimar cuanto es el valor del ahorro económico aunque también intervienen otros aspectos como la disponibilidad, el tiempo de vida y que cubra las necesidades requeridas.

#### 4.1 Análisis del consumo energético

Para el análisis de consumo energético es importante considerar la medición con el analizador de calidad de energía FLUKE 430B, teniendo como resultado los valores mostrados en la sección 2.1.3. Así como el levantamiento de cargas de iluminación instaladas por laboratorios y corredores.

El consumo por medición sería de 646.8 kWh / mes.

En la visita técnica y mediciones se pudo constatar que:

- En los laboratorios existían varias luminarias que se encontraban quemadas.
- Existen varios circuitos que mezclan iluminación con fuerza.
- No existe una adecuada distribución eléctrica para los circuitos de iluminación.

Dichos aspectos mencionados nos arrojará una medición errónea, por tal motivo se escogió un día para realizar las mediciones donde únicamente se encontraban encendidas las luminarias.

Para el levantamiento de cargas instaladas consideramos el formato de la EEQSA, ubicamos el tipo de luminarias en cada laboratorio tal como se muestra en la tabla 4.1.

LABORATORIO	TIPO DE LUMINARIA	CANT	Pn (W)	CI (W)	FFUn (%)	CIR (W)	FSn (%)	DMU (W)
	DESCRIPCIÓN							
Microbótica	Focos incandescentes	36	60	2160	1	2160	0.8	1728
Control y monitoreo	Fluorescentes 3x32W	8	96	768	1	768	0.25	192
Máquinas eléctricas	Fluorescentes 3x32W	8	96	768	1	768	0.25	192
Máquinas eléctricas	Fluorescentes 2x40W	6	80	480	1	480	0.25	120
Alta tensión	Fluorescentes 2x40W	8	80	640	1	640	0.25	160
Alta tensión	LED tubo T8 20W	12	20	240	1	240	0.25	60
Sistemas electrónicos	Fluorescentes 2x40W	10	80	800	1	800	0.8	640
Investigación y proyectos	Fluorescentes 2x40W	10	80	800	1	800	1	800
Control y procesos	Fluorescentes 2x40W	10	80	800	1	800	0.8	640
Automatización y comunicación	Fluorescentes 2x40W	10	80	800	1	800	0.8	640
Circuitos eléctricos	Fluorescentes 2x40W	10	80	800	1	800	0.25	200
Electromagnetismo	Fluorescentes 2x40W	8	80	640	1	640	0.25	160
Instalaciones civiles	Fluorescentes 2x40W	8	80	640	1	640	0.25	160
Instalaciones Industriales	Fluorescentes 2x40W	6	80	480	1	480	0.25	120
Instalaciones Industriales	Fluorescentes 3x32W	1	96	96	1	96	0.25	24
Instrumentación	Fluorescentes 3x32W	12	96	1152	1	1152	0.25	288
Pasillos	Fluorescentes 3x32W	1	96	96	1	96	1	96
Pasillos	Fluorescentes 2x40W	13	80	1040	1	1040	1	1040
Pasillos	Fluorescentes 3x40W	4	120	480	1	480	1	480
<b>TOTALES</b>		<b>181</b>	<b>1560</b>	<b>13680</b>		<b>13680</b>		<b>7740</b>

**Tabla 4.1** Tabla descriptiva de cargas instaladas para iluminación.

**Fuente.** Formato para determinación de demanda Empresa Eléctrica Quito

Pn= Potencia nominal, CI= Carga instalada, FFUn= Factor de frecuencia de uso, CIR= Carga instalada representativa, FSn= Factor de simultaneidad, DMU= Demanda máxima unitaria

La demanda máxima en iluminación es de 7.74 kW, y la totalidad de lámparas instaladas 36 incandescentes, 300 tubos fluorescentes entre 32 y 40 W y 6 de tecnología LED. Eso quiere decir que si funciona en su máxima capacidad cada hora vamos a tener un consumo de 7.74 kWh al día, con el funcionamiento de 4 horas diarias por 21 días laborables al mes, serán 84 horas por lo tanto el consumo será de 650.16 kWh / mes.

#### 4.2 Proyección de consumo energético

El ahorro energético es un rol importante dentro de la sociedad por tal motivo se ha considerado para la selección de luminarias la tecnología LED como la adecuada por su alta eficiencia energética, es decir su bajo consumo y su alto flujo luminoso.

LABORATORIO	TIPO DE LUMINARIA		CI (W)	FFUn (%)	CIR (W)	FSn (%)	DMU (W)
	LED tipo campana	Tubo LED T8					
	200W	20W					
Microbótica	3		600	1	600	0,8	480
Control y monitoreo	3		600	1	600	0,25	150
Máquinas eléctricas	3	12	840	1	840	0,25	210
Alta tensión	3	12	840	1	840	0,25	210
Sistemas electrónicos	3		600	1	600	0,8	480
Investigación y proyectos	3		600	1	600	1	600
Control y procesos	3		600	1	600	0,8	480
Automatización y comunicación	3		600	1	600	0,8	480
Circuitos eléctricos	3		600	1	600	0,25	150
Electromagnetismo	3		600	1	600	0,25	150
Instalaciones civiles	3		600	1	600	0,25	150
Instalaciones Industriales	3		600	1	600	0,25	150
Instrumentación		24	480	1	480	0,25	120
Pasillos		28	560	1	560	1	560
<b>TOTALES</b>	<b>36</b>	<b>76</b>	<b>8720</b>		<b>8720</b>		<b>4370</b>

**Tabla 4.2** Potencia proyectada para el sistema de iluminación.

**Fuente.** Formato para determinación de demanda Empresa Electrica Quito

Pn= Potencia nominal, CI= Carga instalada, FFUn= Factor de frecuencia de uso, CIR= Carga instalada representativa, FSn= Factor de simultaneidad, DMU= Demanda máxima unitaria

La proyección del consumo energético en iluminación será de 4.37 kWh al día, con el funcionamiento de 4 horas diarias por 21 días laborables, al mes el consumo será de 367.08 kWh/mes

### 4.3 Análisis técnico económico

En la última instancia los aspectos económicos casi siempre son los determinantes para que un proyecto se realice o no. Por tal circunstancia un análisis económico que analice la viabilidad económica de lo actual con lo proyectado es imprescindible. Hay que tomar en cuenta otros aspectos como: las garantías que brindan los fabricantes, el servicio técnico que pueda ofrecer un proveedor, stock de repuestos y la manera como un elemento pueda adaptarse a las necesidades y costumbres de los beneficiarios. Hay que recordar que el objetivo principal es suministrar confort visual con niveles adecuados de iluminación.

### 4.3.1 Conceptos.

Es necesario conocer varios conceptos para realizar un adecuado análisis financiero y son los que a continuación se exponen [39] [40]:

- **Análisis económico.** Es un instrumento que nos indica los costos y beneficios atribuidos al proyecto, esto ayuda en la toma de decisión de ejecutar o no el mismo. Todo proyecto económicamente representa costos y beneficios los cuales se producen en diferentes periodos de tiempo.
- **Análisis financiero.** Es el estudio que se hace de la información contable, la contabilidad representa y refleja la realidad económica y financiera de la empresa, de modo que es necesario interpretar y analizar esa información para poder entender a profundidad el origen y comportamiento de los recursos que se tiene.
- **VAN (Valor Actual Neto).** Es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

La fórmula del VAN es:  $VAN = BNA - Inversión$

Donde el Beneficio Neto Actualizado (BNA) es el valor actual del flujo de caja o beneficio neto proyectado, el cual ha sido actualizado a través de una tasa de descuento.

La tasa de descuento (TD) con la que se descuenta el flujo neto proyectado, es la tasa de oportunidad, rendimiento o rentabilidad mínima, que se espera ganar; por lo tanto cuando la inversión resulta mayor que el BNA (VAN negativo o menor que cero) es porque no se ha satisfecho dicha tasa. Cuando el BNA es igual a la inversión (VAN igual a cero) es porque se ha cumplido con dicha tasa. Cuando el BNA es mayor que la inversión es porque se ha cumplido dicha tasa y además, se ha generado una ganancia o beneficio adicional.

- **TIR (Tasa Interna de Retorno).** Es la tasa de descuento de un proyecto de inversión que permite que el BNA sea igual a la inversión (VAN igual a cero). La TIR es la máxima tasa de descuento que puede tener un proyecto para que sea rentable, pues mayor tasa ocasionaría que el BNA sea menor que la inversión (VAN menor que cero).

Si la tasa interna de retorno es mayor que la tasa de descuento requerida, el proyecto es aceptable, caso contrario, si la tasa de descuento es mayor que la tasa interna de retorno, no se considera un proyecto viable.

- **Inversión.** Es gasto en equipo de capital, inventarios y estructuras es decir el acto mediante el cual se adquieren ciertos bienes con el ánimo de obtener unos ingresos o rentas a lo largo del tiempo.
- **Gastos.** Es una salida de dinero que una persona o empresa debe pagar por un artículo o por un servicio.
- **Ingresos.** El ingreso en la cantidad de dinero que recibe una persona o empresa por la venta de sus productos o servicios.
- **Depreciaciones.** Es la disminución del valor de propiedad de un activo fijo, producido por el paso del tiempo, desgaste por uso, el desuso, insuficiencia técnica, obsolescencia u otros factores de carácter operativo, tecnológico, tributario, entre otras.

#### 4.3.2 Presupuesto

Posterior al dimensionamiento del proyecto es necesario preparar una lista detallada de todos los elementos que se necesita y pedir cotizaciones a proveedores, es necesario al menos pedir 2 cotizaciones distintas para comparar precios.

De las diferentes cotizaciones se escogieron los mejores precios para todos los materiales requeridos.

<b>RUBRO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>P. TOTAL</b>
1	Campana LED (HIGH BAY) 200W/90° LEDEX	U	36.00	412.50	14,850.00
2	Tubo LED T8 high power 6000K 20W 100-240V LEDEX	U	76.00	28.50	2,166.00
3	Conductor THHN 2x12 + 1X14 AWG	m	670.00	1.32	884.40
4	Conductor THHN 3x6 + (1X8) + 1X8 AWG	m	9.00	8.20	73.80
5	Tuberías conduit metálicas livianas del tipo EMT 3/4"	m	120.00	1.70	204.00
6	Manguera BX recubierta de PVC 3/4"	m	94.00	2.48	233.12
7	Electro canal en U de 20 cm de ancho con accesorios	m	20.00	13.50	270.00
8	Cajetín octogonal	U	40.00	0.65	26.00
9	Cajetín metálico de 10x10	U	11.00	1.50	16.50
10	Caja rectangular profunda	U	16.00	0.65	10.40
11	Conectores para tubería EMT 3/4"	U	50.00	0.55	27.50
12	Uniones para tubería EMT 3/4"	U	35.00	0.55	19.25
13	Conectores para manguera BX recubierta de PVC 3/4"	U	30.00	3.00	90.00
14	Centro de Carga SquareD 3F, 20Pts.	U	1.00	95.22	95.22
15	Breakers unipolares de 20 A	U	15.00	5.75	86.25
16	2 Scene Controller with Switchs (Int. dobles)	U	14.00	149.65	2,095.10
17	1 Scene Controller with Switchs (Int. simple)	U	2.00	62.30	124.60
18	GE Z-Wave Wireless Lighting Control (Tomacorriente)	U	2.00	71.93	143.86
19	Mi Casa Verde Vera Lite Home Controller, White and Green	U	1.00	270.00	270.00
20	Material menudo (tornillos, tacos, cinta aislante)	Glb	1.00	140.00	140.00
21	Mano de Obra	Glb	1.00	3,000.00	3,000.00
				<b>SUBTOTAL:</b>	<b>24,826.00</b>

**Tabla 4.3** Presupuesto del sistema de iluminación proyectado.

Fuente. Propia del autor.

### 4.3.3 Costo de ciclo de vida

Para poder mostrar la eficacia de una propuesta es necesario incluir el análisis de ciclo de vida. Si solo comparamos el coste inicial de una instalación se obviaría los costes recurrentes de operación, mantenimiento y remplazo que habrá que enfrentar a futuro.

El análisis de coste de ciclo de vida permite determinar el coste actual de una instalación con los gastos que habrá a futuro, se expresa como *Valor Actual Neto (VAN)* cualquier análisis de este tipo depende de una serie de supuestos de lo que pasara a futuro, y por lo tanto incluye un cierto nivel de incertidumbre, sin embargo si se usa de forma correcta es una herramienta para determinar el coste de ciclo de vida, definimos los siguientes parámetros [37]:

- **Tasa de descuento:** refleja el costo actual de un pago futuro, y puede reflejar la tasa de interés que pide un banco para un préstamo. Para el análisis usaremos el 11.20% correspondiente a la Tasa Activa Efectiva Referencial (productivo PYMES), dato del Banco Central del Ecuador [41].
- **La inflación de energía:** El aumento de la energía eléctrica durante el periodo de análisis es un poco complicado este valor puesto que en Ecuador las tarifas eléctricas son escalonadas, un porcentaje promedio para la inflación es del 11%.
- **Periodo de análisis:** para el caso se va a definir el periodo análisis en 14 años
- **Inversión:** El costo de instalación del sistema de iluminación proyectado se determinó según los planos y es \$ 25,539.26.
- **Operación y mantenimiento:** se refieren los gastos de operación recurrentes de una instalación y de los mantenimientos periódicos que se le debe dar.

El costo para la Universidad que es: usuario comercial con demanda a media tensión es 0.0779 dólares el kWh, más la demanda en horario de (18:00 a 22:00) que en el mes de junio fue de 390kW con un valor de \$ 298.15 [42]

Se tiene que tomar en cuenta para el análisis que los gastos por iluminación son constantes, así que vamos a comparar el sistema actual con el proyectado para facilidad ordenamos los datos como se observa en la tabla 4.4.

<b>Parámetros generales</b>		
Tasa de descuento	11.20%	
Inflación energética	11.00%	
Periodo de análisis (años)	14	
<b>Inversión</b>	<b>Actual</b>	<b>Proyectada</b>
Costo inicial (USD\$)	0	24,826.00
<b>Operación y Mantenimiento (O&amp;M)</b>	<b>Actual</b>	<b>Proyectada</b>
Costo de operación (USD\$/anual)	4185.6	3921
Costo de mantenimiento (USD\$/anual)	240	30
<b>Reemplazo</b>	<b>Actual</b>	<b>Proyectada</b>
Reemplazo Tubos Fluorescentes (USD\$)	719.4	-
Reemplazo Balastros (USD\$)	5054	-
Reemplazo Campanas LED (USD\$)	-	14850
Reemplazo Tubos LED T8 (USD\$)	-	2166
Cantidad de reemplazos en 10 años	7	0

**Tabla 4.4** Parámetros del estudio de costo de vida.

**Fuente.** Propia del autor.

Para calcular el costo de vida, tenemos que sumar el costo de inversión al valor actual neto (VAN) de los costos de operación, mantenimiento y remplazo durante el periodo de análisis.

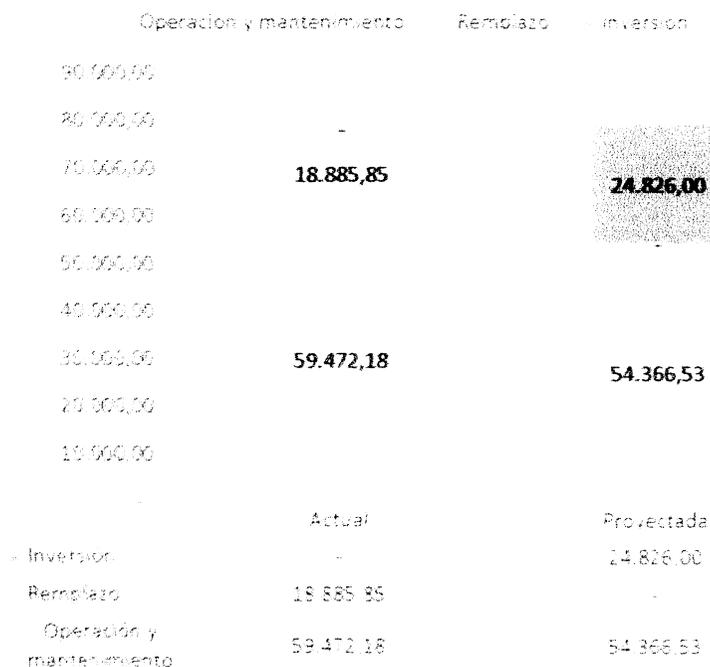
		Actual	Proyectada
VAN	Operación y mantenimiento	59,472.18	54,366.53
	Remplazo	18,885.85	-
Inversión		-	24,826.00
Total (USD\$)		<b>78,358.03</b>	<b>79,192.53</b>

**Tabla 4.5** Resultados del estudio de costo ciclo de vida.

**Fuente.** Propia del autor.

Para poder visualizar de mejor manera observamos la figura 4.1 la inversión del nuevo diseño es muy elevado y aunque representa un ahorro significativo de energía eléctrica y mantenimiento la recuperación de la inversión será a largo plazo.

### Costo de Ciclo de Vida



**Figura 4.1** Resultados del estudio de costo ciclo de vida.

**Fuente.** Propia del autor

Para la tasa interna de retorno (TIR) se comparó los valores de la instalación actual con la proyectada y se sacó la diferencia, de ahí se obtuvo el ahorro anual por concepto de operación, mantenimiento y reemplazo. Se expresó en la tabla 4.6, el valor neto se obtiene de la diferencia entre el ahorro y el gasto, para obtener el valor se utilizó la herramienta de Excel.

<b>Años</b>	<b>Ahorro</b>	<b>Gasto</b>	<b>Valor Neto</b>
0	474.6	24826	-24351.4
1	6248	0	6248
2	474.6	0	474.6
3	6248	0	6248
4	474.6	0	474.6
5	6248	0	6248
6	474.6	0	474.6
7	6248	0	6248
8	474.6	0	474.6
9	6248	0	6248
10	474.6	0	474.6
11	6248	0	6248
12	474.6	0	474.6
13	6248	0	6248
14	474.6	0	474.6
<b>TIR =</b>			<b>11%</b>

**Tabla 4.6** Resultados de la tasa interna de retorno.

**Fuente:** Propia del autor.

Al ser el valor del TIR del 11% se considera que el proyecto es viable.

#### **4.4 Identificación de impacto ambiental**

El cuidado del medio ambiente es una responsabilidad social así que de una u otra forma se tiene que dejar de contaminar. Por ello se plantea que el diseño proyectado tenga un menor consumo energético que el actual.

##### **4.4.1 Cálculo de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>.**

Para el caso la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) es quien provee la energía eléctrica, y una de las centrales de generación es la Termoeléctrica Santa Rosa ubicada en Quito, sector Cutuglahua en el Km 17 de la Panamericana sur. Esta central tiene una potencia

instalada de 51 MW, distribuida en 3 turbinas que funcionan como generadores, la central utiliza para su generación diésel.

- **Factor de emisiones de CO<sub>2</sub>:** el factor de emisión determina cuantos kilos de CO<sub>2</sub> emite el sistema por kWh, la central generadora por ser de turbina nos indica que es de 895 tCO<sub>2</sub>/GWh equivalente a 0.895 kgCO<sub>2</sub>/kWh.
- **Demanda anual de energía:** en función del levantamiento de planos y la proyección de la demanda se determina que actualmente el consumo es 7761.6 kWh/año, y la proyección con el nuevo sistema será 4404.96 kWh/año, con un ahorro de consumo de 3356.64 kWh/año.
- **Periodo de análisis:** 14 años

<b>Factores</b>	<b>Valores</b>
Factor de emisión CO <sub>2</sub> diesel (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	0.895
Demanda anual electricidad actual (kWh/año)	7761.6
Demanda anual electricidad proyectada (kWh/año)	4404.96
Diferencia anual electricidad (kWh/año)	3356.64
Emisión de CO <sub>2</sub> (kg/año)	3004.19
Periodo de análisis (años)	14
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> evitados (Kg)</b>	<b>42058.70</b>

**Tabla 4.7** Cálculo de emisión de CO<sub>2</sub>.

**Fuente:** Propia del autor.

Los resultados de la tabla 4.7 indica que la emisión de CO<sub>2</sub> que evitamos que ingrese en el medio ambiente en 14 años es de 42058.7 kg, lo cual es un indicador muy importante para catalogarlo como un proyecto ecológicamente viable [43] [44].

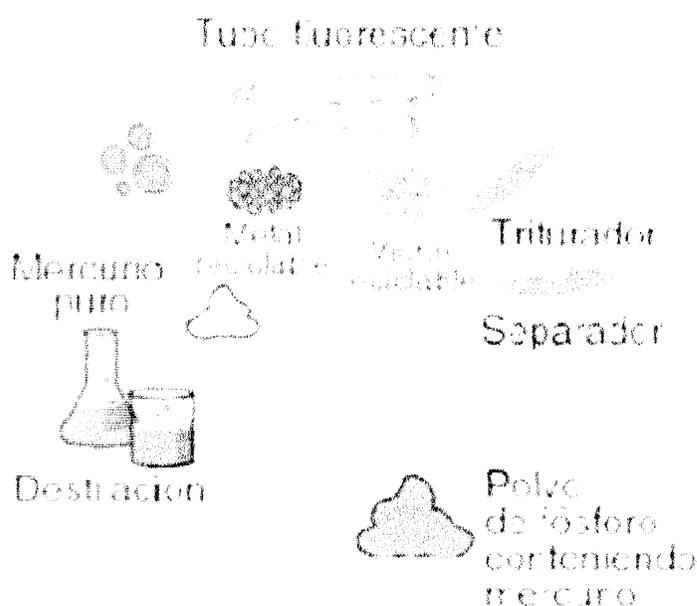
#### **4.4.2 Contaminantes en luminarias**

Las luminarias fluorescentes son una alternativa adecuada por su economía y ahorro de energía, sin embargo este tipo de luminarias contienen mercurio, en una cantidad entre 5 y 20 miligramos. Cuando son desechadas directamente a la basura, sin las medidas apropiadas, pueden contaminar al ambiente y al ser humano. Esto ocurre porque muy pocas personas saben de la presencia del mercurio en los focos, desconocen sus efectos

en el ambiente y, además, el empaque no indica el manejo del producto al terminar su vida útil.

El mercurio puede quedar en aire, agua y alimentos. Se trata de un posible cancerígeno que puede ocasionar daños en el cerebro, vista, riñones, hígado, estómago; y en la etapa de gestación puede causar retraso mental. En este caso, los niños y las mujeres embarazadas son los más vulnerables a la presencia del elemento [45].

Los tubos fluorescentes deben ser reciclados de forma técnica apropiados como lo indica la figura 4.2 por alguna entidad de medio ambiente o empresa privada.



**Figura 4.2** Proceso de reciclaje de tubos fluorescentes.

**Fuente.** [http://oni.inet.edu.ar/2011/SAN\\_JUAN/1686/Reciclado%20de%20L%C3%A1mparas.html](http://oni.inet.edu.ar/2011/SAN_JUAN/1686/Reciclado%20de%20L%C3%A1mparas.html)

## CONCLUSIONES

- La tecnología LED en iluminación que es eficientemente energética, es mejor comparada con otras, sin embargo el elevado costo de las mismas ha ocasionado un bajo crecimiento, de disponibilidad en el mercado nacional.
- Una problemática de las señales inalámbricas es la atenuación de su señal por obstáculos, en especial por planchas de aluminio y paredes o losas con alma de hierro; esto dificulta el óptimo funcionamiento de componentes domóticos en especial los de estándar ZigBee y Z-Wave.
- La certificación de etiqueta de eficiencia energética impulsa y obliga a los dueños de inmuebles en España, a la utilización de componentes eléctricos con eficiencia energética.
- La Certificación LEED en (Estados Unidos) y VERDE en (España) son una adecuada referencia para el diseño, la construcción y la operación de edificaciones en Ecuador; cuyo objetivo es la sustentabilidad y el alto rendimiento.
- El realizar una auditoría energética fue importante, puesto que se logró optimizar el consumo energético, lo cual se traduce en una importante reducción de costos por planilla de consumo eléctrico.
- Los laboratorios ingeniería eléctrica campus Kennedy de la Universidad Politécnica Salesiana, carecen de un adecuado flujo luminoso y las instalaciones del sistema de iluminación están mezcladas con las de fuerza; por tal motivo se dotó de un estudio del sistema de iluminación energéticamente eficiente con planos eléctricos y control inalámbrico de tecnología Z-Wave.
- El análisis del costo de ciclo de vida muestra que el diseño proyectado tiene una elevada inversión pero la operación y el mantenimiento son mínimos; por el contrario las instalaciones actuales los costos de mantenimiento y la operación son elevados.

- El análisis económico financiero demostró; que recuperar la inversión solo por concepto de ahorro de consumo energético y mantenimiento será a largo plazo, sin embargo cabe recalcar que el objetivo del estudio es eficiencia energética la cual se la desarrolló con éxito.
- El cambio del sistema de iluminación en el aspecto ambiental es provechoso, ya que en 14 años evitamos que ingrese al medio ambiente 42,058.7 kg de CO<sub>2</sub> y por otro que utilicemos elementos contaminantes como los tubos fluorescentes que contiene mercurio.

## RECOMENDACIONES

- En Ecuador se requiere la creación de normativas eléctricas de iluminación, diseño (residencial, comercial e industrial), eficiencia energética aplicada a hogares y edificios que sean una guía adecuada para el medio.
- Es importante la independización eléctrica del sistema de iluminación, ya que actualmente por el hecho de encontrarse compartiendo con circuitos de fuerza está disminuyendo la vida útil de los balastos y tubos fluorescentes.
- Es importante reforzar el sistema de puesta a tierra en caso de la implementación de nuevos sistema de iluminación, ya que por el hecho de existir una cantidad considerable de computadoras y maquinarias de inducción; se corre el riesgo que la existencia de gran cantidad de armónicos y alterar la calidad energética.
- Por medio del analizador de energía se detectó que las cargas en el TDP no se encuentran desequilibradas; la recomendación es que se balance la carga de las fases en los sub tableros y en el tablero principal de distribución.
- Se recomienda que la carrera de ingeniería eléctrica promueva y apoye un proyecto de reciclaje de tubos fluorescentes, que de un adecuado manejo de residuos y puedan ser reutilizados.
- En caso de ejecutar el proyecto se recomienda la utilización de las luminarias, equipos y materiales mencionados en las especificaciones técnicas, para garantizar los resultados obtenidos en el presente estudio.

## REFERENCIAS

- [1] NEC 2008. 2008, pp. 1–931.
- [2] Comunidad de Madrid, “Guía Técnica de Iluminación Eficiente Sector Residencial y Terciario.” Madrid, pp. 1–57, 2006.
- [3] Comité técnico AEN/CTN 72, “UNE-EN 12464-1.” Madrid, España, pp. 1–43, 2003.
- [4] IEEE 802.15, *El estándar IEEE 802.15.4*. 2007, pp. 1–18.
- [5] N. Hunn, *Essentials of short - range wireless*. New York, 2010, pp. 147–174.
- [6] A. Rodríguez and M. Casa, *Instalaciones Domóticas*. Barcelona, 2010, pp. 1–207.
- [7] D.-M. H. Lim and Jae-Hyun, “Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and zigbee,” *Consum. Electron. IEEE Trans.*, vol. 56, no. 3, pp. 1403–1410, 2010.
- [8] C. Gomez and J. Paradells, “Wireless Home Automation Networks : A Survey of Architectures and Technologies,” *IEEE Communications Magazine*, no. June, pp. 92–101, 2010.
- [9] D. Gislason, *Zigbee Wireless Networking*. Burlington: Elsevier Inc., 2008, p. 425.
- [10] J. Ploennigs, H. Dibowski, U. Ryssel, K. Kabitzsch, and K. K. De, “This regular paper was presented as part of the main technical program at IEEE ETFA ` 2011 Holistic Design of Wireless Building Automation Systems,” 2011.
- [11] M. T. Z-Wave, “Z-Way Developers Documentation,” vol. 1.7, no. c. pp. 1–111.
- [12] K. Vijayananda, W.M.T. Samarakoon and J. Ekanayake, “Development of a demonstration rig for providing primary frequency response through smart metersNo Title,” 2010, pp. 1–6.
- [13] J. Portela, J. Viguera, A. Pastor, M. Huerta, and M. Otero, “La Certificación LEED , cómo cumplir con un conjunto de normas para la sostenibilidad en el proyecto de ingeniería,” 2010, pp. 1–8.
- [14] E. B. Bd, “Certificación LEED : Categorías,” 2000. [Online]. Available: <http://wiki.ead.pucv.cl/images/f/fb/LEED.pdf>.
- [15] SUMAC, “Certificaciones leed,” 2010. [Online]. Available: <http://sumacinc.com/es/pdf/Sumac-leed.pdf>.
- [16] Green Building Council España (GBCe), “Certificación Verde,” 2012. [Online]. Available: <http://www.gbce.es/pagina/certificacion-verde>.
- [17] Atecos, “CERTIFICACIÓN VERDE.” pp. 1–10, 2012.
- [18] M. de la Presidencia, *Real Decreto 235 2013*. 2013, pp. 27548–27562.
- [19] V. Fabricio, “Estudio técnico experimental de los efectos del empleo de focos ahorradores en instalaciones residenciales,” Universidad Politecnica Salesiana, 2011.
- [20] Westinghouse, *Manual de Alumbrado*. Madrid, 1962, pp. 1–128.
- [21] G. Enriquez Harper, *El ABC Del Alumbrado y las Instalaciones Eléctricas En Baja Tensión*, Segunda. Mexico, 2005.
- [22] M. S. Rea, *Lighting handbook*. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 1995, pp. 1–957.
- [23] INEN, *Resolución COMEX 529*, no. 529. 2009, pp. 1–2.
- [24] D. Carrión, “Energy saving model through lighting management systems for residences,” *Power Electron. Power Qual. Apl.*, pp. 1–6, 2013.
- [25] L. Lesur, *Manual de Mantenimiento Eléctrico Industrial: Una guía paso a paso*. Mexico, 2010, pp. 1–80.
- [26] J. Garcia, “Clases de lamparas de descarga,” *Oriol Boix*. [Online]. Available: <http://edison.upc.edu/curs/llum/lamparas/ldesc2.html>.
- [27] P. C. Hidalgo, “Características Eléctricas de las Lámparas Fluorescentes Compactas (CFL),” Quito, 2009.
- [28] M. Reyes, S. Gallagher, and J. Sammarco, “Evaluation of Visual Performance when Using Incandescent , Fluorescent , and LED Machine Lights in Mesopic Conditions,” *Ind. Appl. Soc. Annu. Meet.*, pp. 1–7, 2009.
- [29] L. Lund, “Normativa RoHS para la industria eléctrica-electrónica,” *Electro Ind.*, pp. 30–31, 2008.

- [30] K. R. Cowan and T. U. Daim, "Understanding Adoption of Energy Efficiency Technologies : Applying Behavioral Theories of Technology Acceptance & Use to Understand the Case of LED Lighting for Commercial , Residential , and Industrial End-Users," 2011.
- [31] R. Lenk and C. Lenk, *Practical Lighting Design with LEDs*. Wiley, Jhon & Sons, Inc, 2011, p. 250.
- [32] P. Laura and G. Acosta, "La importancia de las auditorías energéticas," pp. 19–20.
- [33] Conelec, *Resolucion conelec 004 1*. Ecuador, 2001.
- [34] Leviton, *Energy Management The Smart Choice for Lighting Control and Energy Solutions*. Tualatin, 2012, p. 112.
- [35] J. Byun, B. Jeon, J. Noh, Y. Kim, and S. Park, "An intelligent self-adjusting sensor for smart home services based on ZigBee communications," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 58, no. 3, pp. 794–802, Aug. 2012.
- [36] Leviton, *Architectural Lighting Controls*. Tualatin, 2012, p. 21.
- [37] O. Style, *Energía Solar Autónoma*, Primera Ed. 2012, pp. 1–166.
- [38] Z-Wave, "Z-Wave Technical Basics." pp. 1–125, 2011.
- [39] N. Gregory Mankiw, *Principios de Economía*, Quinta Edí. Mexico, 2012, pp. 1–872.
- [40] F. Cárdenas and D. Marcillo, "Auditoria Energética Eléctrica del Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito," UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2012.
- [41] Banco Central del Ecuador, "Tasa de Interes," 2014. [Online]. Available: <http://www.bce.fin.ec/index.php/tablaprueba>.
- [42] Conelec, *Resolución 034-11 conelec*, no. 034. Ecuador, 2010, pp. 2010–2012.
- [43] F. Lema and F. Panchi, "Estudio y diseño de un sistema scada para cortes y reconexiones del sistema eléctrico en los laboratorios de ingeniería eléctrica," Universidad Politécnica Salesiana, 2013.
- [44] O. de C. del C. Climático, "Guía Practica para el Cálculo de emisiones de gases de Efecto invernadero (GEI)." pp. 0–74, 2012.
- [45] Gestión de Residuos Peligrosos en Chile. "Tubos fluorescentes." pp. 1–2, 2006.