



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AULA PROTOTIPO CON DOMÓTICA EN LA
ILUMINACIÓN EFICIENTE Y CONFORTABLE, EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS, CAMPUS CENTRAL**

Edgar Rolando Ramírez Marín

Asesorado por el Msc. Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AULA PROTOTIPO CON DOMÓTICA EN LA
ILUMINACIÓN EFICIENTE Y CONFORTABLE, EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS, CAMPUS CENTRAL**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDGAR ROLANDO RAMÍREZ MARÍN

ASESORADO POR EL MSC. ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayo
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADORA	Inga. Rosa María Girón Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Jose Manuel Tay Oroxóm
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AULA PROTOTIPO CON DOMÓTICA EN LA ILUMINACIÓN EFICIENTE Y CONFORTABLE, EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS, CAMPUS CENTRAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 22 de enero 2013.



Edgar Rolando Ramírez Marín

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142

ADSE-MEAPP-0002-2013

Guatemala, 22 de enero de 2013.

Director:
Víctor Manuel Monzón Valdez
Escuela de Ingeniería Química
Presente.

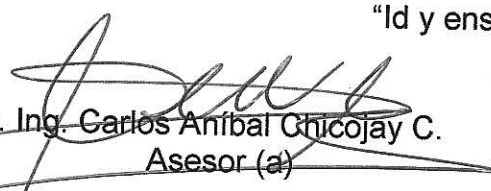
Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Edgar Rolando Ramírez Marín** con carné número **1996-22329**, quien optó la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,


"Id y enseñad a todos"

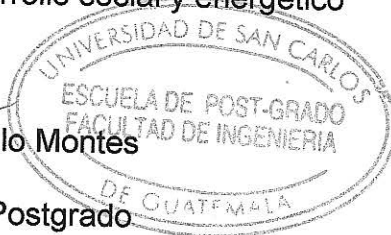

Msc. Ing. Carlos Aníbal Chicojay C.
Asesor (a)

Carlos Aníbal Chicojay Coloma
INGENIERO MECANICO
Colegiado No. 2309


Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504


Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **EDGAR ROLANDO RAMÍREZ MARÍN** titulado: **"DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AULA PROTOTIPO CON DOMÓTICA EN LA ILUMINACIÓN EFICIENTE Y CONFORTABLE, EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS, CAMPUS CENTRAL"**. Procedé a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 043 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AULA PROTOTIPO CON DOMÓTICA EN LA ILUMINACIÓN EFICIENTE Y CONFORTABLE, EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS, CAMPUS CENTRAL,** presentado por el estudiante universitario: **Edgar Rolando Ramírez Marín,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 4 de febrero de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser una importante influencia en mi carrera y en mi vida.
Mis padres	Edgar Rolando Ramírez Anléu y Edna Elizabeth Marín Mejía de Ramírez. Por su amor.
Mi esposa	Amanda del Carmen Mejía López. Por ser una importante influencia en mi carrera.
Mi hija	Adriana. Por ser un ángel en mi vida.
Mis hermanos	José Miguel, Waleska, Fabiola Ramírez. Por ser un importante apoyo en mi carrera.
Mis suegros	Manuel Mejía y Nora López de Mejía. Por ser una importante influencia en mi carrera.
Mis tíos	Leopoldo Ramírez, Luis Emilio Ramírez, Carlos Enrique Ramírez. Como profesionales siendo un ejemplo en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala Por permitirme mi formación académica.

Facultad de Ingeniería Por permitirme formarme con catedráticos de alto nivel profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	V
RESUMEN.....	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. OBJETIVOS.....	5
3.1. General.....	5
3.2. Específico.....	5
4. JUSTIFICACIÓN.....	7
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	9
6. ALCANCE DEL TEMA.....	11
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	13
7.1. Eficiencia energética de luminarias.....	13
7.1.1. Tipos de luminarias.....	13
7.1.2. Lámparas incandescentes.....	13
7.1.3. Lámparas de descargas.....	14
7.1.4. Lámparas fluorescentes.....	14
7.1.5. Lámpara de arco eléctrico y de plasma.....	14
7.1.6. Lámparas LED.....	15
7.1.7. Lámparas de diodos de luz de origen inorgánico.....	15

7.1.8.	Lámparas de diodos de luz de origen orgánico.....	16
7.2.	Ahorro de energía en luminarias.....	17
7.2.1.	Dispositivos para el ahorro de energía en luminarias.....	17
7.2.2.	Balastos electrónicos.....	17
7.2.3.	Aprovechamiento de luz diurna.....	18
7.3.	Confort visual en iluminación.....	18
7.3.1.	Problemas a la salud por el riesgo visual.....	19
7.3.2.	Efecto estroboscópico.....	19
7.3.3.	Óptica de la iluminación.....	19
7.3.4.	Colores confortables de iluminación.....	19
7.3.5.	Normas ASTM de iluminación.....	20
7.4.	Domótica en iluminación.....	20
7.4.1.	Sensores.....	21
7.4.2.	Controladores y Software.....	21
7.4.3.	Actuadores.....	21
7.5.	Auditoría de energía en luminarias.....	21
7.5.1.	Cuantificación de la eficiencia energética.....	22
7.5.2.	Cuantificación de la potencia eléctrica en luminarias.....	23
7.5.3.	Parámetros luminotécnicos.....	24
7.5.4.	Proyectos de iluminación.....	24
7.6 .	Diseño del aula con iluminación eficiente y confortable....	24
7.6.1	Dimensionamiento de la iluminación.....	24
7.6.1.1	Iluminancias.....	25
7.6.1.2	Deslumbramiento modesto.....	25
7.6.1.3	Rendimiento de color.....	26
7.6.1.4	Rendimiento de luminaria.....	27
7.6.1.5	Factor de utilización.....	27

7.6.2.	Métodos de cálculo de la iluminación.....	29
7.6.3.	Desarrollo del aula de iluminación eficiente.....	29
7.6.3.1	Patrocinadores e inversionistas.....	30
8.	HIPÓTESIS.....	31
9.	CONTENIDO DEL INFORME.....	33
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	37
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	39
12.	RECURSOS NECESARIOS.....	41
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Espectro visible por el hombre.....	20
----	-------------------------------------	----

TABLAS

I.		
II.	Índice del local y factor de utilización.....	28
III.	Cronograma de actividades.....	39
IV.	Costos de recursos humanos.....	41
V.	Materiales e insumos.....	42
VI.	Infraestructura.....	42

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
E_l	Eficacia luminosa
f_m	Factor de mantenimiento
F_u	Factor de utilización
E_m	Iluminancia media
K	Índice de local
log	Logaritmo base 10
m²	Metro cuadrado
mA	Miliamperio
R_a	Rendimiento de color
Σ	Sumatoria
T_c	Temperatura de color

RESUMEN

Debido a la necesidad de obtener más información en la calidad de iluminación, tiempo de vida, rendimiento y efectos visuales a los estudiantes y catedráticos de los nuevos dispositivos de iluminación en aulas de la Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, Campus Central. Se propone el siguiente trabajo de investigación que permitirá evaluar las nuevas tecnologías como los diodos emisores de luz (LED), fabricados con compuestos inorgánicos.

La eficiencia energética en iluminación está ligada además de los dispositivos de iluminación a los sistemas de automatización concepto denominado domótica, permitiendo lograr el óptimo uso de los dispositivos de iluminación.

Hay mucha resistencia al usar nuevos dispositivos por sus altos costos iniciales y el temor de no poder amortizar los dispositivos en una inversión de largo plazo, la investigación resolverá todas las inquietudes que se tenga sobre el uso de estas tecnologías evaluado el costo-beneficio. La ventaja principal es el ahorro de energía, permitiendo disminuir la huella ecológica generada por el uso de los dispositivos de iluminación convencionales, como las lámparas incandescentes y las lámparas de fluorescencia, también se espera obtener un mayor control de los dispositivos de iluminación utilizándolos solo cuando es necesario.

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de energía a nivel mundial destinada a la iluminación, va en aumento conforme crece la población, así mismo, el consumo de combustibles fósiles para generar electricidad, es un factor para el crecimiento del efecto invernadero causa principal del calentamiento global. Por esta razón se están desarrollando tecnologías más eficientes y confortables. En las aulas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, Campus Central se quedan luces encendidas cuando no hay estudiantes, se usan las lámparas más baratas sin medir su eficiencia, los estudiantes se quejan de cansancio visual y no hay un control central de la iluminación.

Se plantea como trabajo de investigación diseñar un prototipo de aula donde se espera reducir el consumo de energía por medio de domótica en iluminación, utilizando sistemas automatizados con tecnologías más eficientes como la tecnología de Diodos Emisores de Luz conocida como iluminación LED, activados por sensores de presencia, se evitará el daño visual a los estudiantes y catedráticos producido por el efecto estroboscópico de las lámparas de fluorescencia.

En el procedimiento experimental se tomarán registros de la cantidad de energía consumida y el flujo luminoso. Se evaluarán los sistemas tradicionales y los nuevos dispositivos instalados en el aula prototipo, las mediciones se realizarán por medio del uso de un medidor de potencia eléctrica y un luxómetro. Para evaluar el riesgo visual se evaluará una muestra de estudiantes y catedráticos donde se medirá si presentan cansancio de la vista por el efecto estroboscópico de las lámparas de fluorescencia tradicionales y luego se les

evaluará en el aula prototipo. Los resultados se procesarán por medio de métodos estadísticos tomando en cuenta los posibles errores, se realizará un estudio costo-beneficio que proporcionará cual es el tiempo de retorno de la inversión, esta información pretende que sea de utilidad a las autoridades de la Facultad de Ingeniería en futuros proyectos de iluminación. En los aspectos ambientales se medirá la huella ecológica en función de la reducción del desperdicio de energía.

2. ANTECEDENTES

Las investigaciones en eficiencia energética han permitido el desarrollo de nuevos dispositivos como lo es la tecnología de diodos emisores de luz, que permiten mayor iluminación con menor consumo de energía sustituyendo a las lámparas incandescentes y las lámparas de fluorescencia.

La domótica es un nuevo término, el cual es un conjunto de sistemas capaces de automatizar edificios o viviendas por medio de sensores, controladores y actuadores que permiten el uso eficiente de luminarias utilizándolas solo cuando es necesario.

Oleg Vladimírovich Lósev. (1927), desarrolló el primer Diodo Emisor de Luz (LED), solo se podía construir en rojo, verde y amarillo con poca intensidad de luz, sin embargo se usó en la industria hasta los años sesenta.

Shuji Nakamura (1993), desarrolló los diodos emisores de luz azules en combinación con los LED verdes, rojos y amarillos se desarrolló el LED blanco con una alta intensidad de luz. Se trata de una revolucionaria fuente lumínica de gran eficiencia, larga vida y un consumo energético mucho más reducido que el de las fuentes tradicionales. Considerada la iluminación del futuro.

La tecnología LED actual principalmente usa diodos inorgánicos como el carburo de silicio que es de color azul y una longitud de onda de 480 nanómetros. Estos compuestos contaminan el ambiente cuando se desechan. Investigaciones recientes en diodos orgánicos tienen expectativas de resolver los problemas ambientales ya que son biodegradables y se llama Diodos

Emisores de Luz Orgánicos (OLED), por el momento la intensidad de luz aún es muy baja. Estos sistemas combinados con domótica permiten el uso eficiente de los dispositivos eléctricos ahorrando energía en su adecuado uso.

3. OBJETIVOS

3.1. General

Reducir el costo de energía en iluminación en la Facultad de Ingeniería Campus Central por medio del uso de lámparas más eficientes y automatizadas, con iluminación confortable produciendo la disminución de la huella ecológica.

3.2. Específicos

1. Identificar tecnologías de iluminación con mayores eficiencias energéticas y confortables para las aulas de la Facultad de Ingeniería, Campus Central.
2. Determinar si la domótica o los sistemas automatizados en iluminación son económicamente rentables en presencia de catedráticos y estudiantes en aulas.
3. Disminuir la huella ecológica o impacto ambiental que produce la generación de energía utilizada en iluminación.

4. JUSTIFICACION

En la actualidad la Facultad de Ingeniería, Campus Central cuenta con un sistema de iluminación en aulas principalmente de tubos de fluorescencia, provocan cansancio visual a los estudiantes por el efecto estroboscópico o parpadeo, se queman con regularidad dejando sin iluminación ciertas áreas. En algunos casos cuando se terminan las clases se quedan encendidas las luces en cambios de períodos o cuando finalizan las clases los encargados de mantenimiento apagan las luces salón por salón y no cuenta con sistema donde puedan apagar las luces en un control central.

Con el aula prototipo se pretende tener una pequeña muestra de lo que puede hacerse utilizando domótica en sistemas de iluminación más eficientes. Se espera solucionar estos problemas utilizando sistemas de diodos emisores de luz que tienen de un 50% a 80% de ahorro de energía, combinándolos con los sistemas de automatización que cuentan con sensores que detecten la presencia o ausencia de estudiantes y catedráticos, permitiendo tener las luces encendidas solo cuando sea necesario. Los sistemas de diodos emisores de luz mejoran la calidad de iluminación reduciendo los daños a la salud visual, el sistema se puede complementar con cámaras IP donde se puede tener un mayor control de la iluminación desde un sistema central.

Como resultado del proyecto se espera que los estudiantes y catedráticos cuenten con salones con buena iluminación que eviten problemas de visualización. Se espera que con esta experiencia el proyecto se replique en otras unidades académicas y se generalice en la Facultad de Ingeniería. Se disminuirá la huella de carbono debido a la energía que se estará ahorrando.

Con el aula prototipo se iniciará el proceso de uso de energía renovable como energía solar o energía eólica, cumpliendo con el principio del proceso que es resolver el problema de eficiencia energética para que los paneles solares o aerogeneradores sean rentables.

5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En las aulas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, Campus Central, no hay eficiencia en el uso de la electricidad destinada a iluminación.

Los tubos de fluorescencia tradicionales son de poca eficiencia, su consumo de energía es de un 50% más que las tecnologías de Diodos Emisores de Luz (LED), su flujo luminoso es inferior y produce un efecto estroboscópico o parpadeo, produciendo un cansancio visual a estudiantes y catedráticos.

En las aulas, no se cuenta con un control central que identifique que hay luces encendidas sin necesidad en la ausencia de estudiantes y catedráticos, problema que podría solucionarse con la aplicación de domótica.

El trabajo pretende dar respuesta a las siguientes preguntas de investigación.

- ¿Se ahorra energía destinada a iluminación en las aulas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, Campus Central, implementando la utilización de lámparas compuestas con Diodos Emisores de Luz (LED) y la de sistemas de automatización de luminarias (domótica)?
- ¿Este ahorro en la energía destinada a iluminación tiene un impacto real en la huella ecológica?

- ¿El costo beneficio que brinda la implementación de domótica en el control de la iluminación de las aulas es rentable?

6. ALCANCE DEL TEMA

Uno de los principales riesgos es que no se encuentren los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto y que no se cuente con el apoyo de las autoridades. El personal de mantenimiento de la Facultad de Ingeniería cuenta ya con un programa de mantenimiento por lo que se puede presentar resistencia al cambio al uso de nuevas tecnologías que permitan la eficiencia energética.

La tecnología que se utilizará estaría mejorando la eficiencia con nuevos modelos y dispositivos que se renuevan en corto plazo. Con un plan de trabajo desarrollado adecuadamente se evitan todos los riesgos posibles, el proyecto puede replicarse en otras aulas de la Facultad de Ingeniería, permitiéndole estar a la vanguardia en eficiencia energética, sirviendo como ejemplo para desarrollar un proyecto en toda la Universidad de San Carlos de Guatemala.

7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

La energía consumida por los dispositivos de iluminación en un edificio o vivienda es el mayor consumo de la energía, por lo que es importante buscar alternativas tecnológicas para reducirlo.

7.1. Eficiencia energética de luminarias

El consumo energético supone que uno de sus gastos principales es la constante de iluminación, no siempre un mayor consumo energético equivale a un mejor servicio. Se conseguirá un grado de eficiencia óptimo cuando el consumo y el confort estén en la proporción adecuada.

7.1.1. Tipos de luminarias

Entre los principales tipos de luminarias se encuentran las lámparas: incandescentes, de descarga, fluorescentes, de arco eléctrico, de plasma y lámparas LED. Las principales diferencias son la cantidad de energía consumida, calidad de iluminación y tiempo de vida. (Sastresa; Aranda & Zabalza, 2010).

7.1.2. Lámparas incandescentes

La lámpara incandescente produce luz por medio del calentamiento eléctrico de un alambre (el filamento) a una temperatura alta que la radiación se emite en el campo visible del espectro. Son las más antiguas fuentes de luz

conocidas con las que se obtiene la mejor reproducción de los colores, con una luz muy cercana a la luz natural del sol. Su desventaja es la corta vida de funcionamiento, baja eficacia luminosa (ya que el 90% de la energía se pierde en forma de calor) y depreciación luminosa con respecto al tiempo.(Greenpeace, 2011).

7.1.3. Lámparas de descargas

Las lámparas de descarga pueden ser de sodio o mercurio. La radiación visible de la lámpara de sodio de baja presión se produce por la descarga de sodio. La lámpara producirá luz de color amarillo, ya que en casi la totalidad de su espectro predominan las frecuencias cerca del amarillo.

7.1.4. Lámparas fluorescentes

Se componen de un tubo de vidrio que contiene una pequeña cantidad de mercurio y de gas argón. Al circular la corriente eléctrica por dos electrodos situados a ambos lados del tubo, se produce una descarga eléctrica entre ellos, que al pasar a través del vapor de mercurio produce radiación ultravioleta. Esta radiación excita una sustancia fluorescente con la que se recubre la parte interior del tubo, transformando la radiación ultravioleta en radiación visible, que en función de la sustancia fluorescente utilizada puede tener distintos tonos y colores.(Rey & Velasco, 2006).

7.1.5. Lámpara de arco eléctrico y de plasma

Una lámpara de plasma (también llamada "bola de plasma" o "esfera de plasma") es un objeto que alcanzó su popularidad en 1980. Fue inventada por Nikola Tesla tras su experimentación con corrientes de alta frecuencia en un

tubo de cristal vacío con el propósito de investigar el fenómeno del alto voltaje. Las lámparas de plasma están disponibles en multitud de formas, siendo las más frecuentes esferas y cilindros. Arco eléctrico, también llamado arco voltaico, tipo de descarga eléctrica continua que genera luz y calor intensos, formada entre dos electrodos dentro de una atmósfera de gas a baja presión o al aire libre. (Rey & Velasco, 2006).

7.1.6. Lámparas LED

En las lámparas LED, un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; esta energía perdida se manifiesta en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria.

Todos los diodos emisores de luz (LED) emiten cierta cantidad de radiación cuando los pares electrón-hueco se recombinan; es decir, cuando los electrones caen desde la banda de conducción (de mayor energía) a la banda de valencia (de menor energía), emitiendo fotones en el proceso. Indudablemente, por ende, su color dependerá de la altura de la banda prohibida, que son las diferencias de energía entre las bandas de conducción y valencia. (Gobierno de Chile, 2008).

7.1.7. Lámparas de Diodos de Luz de Origen Inorgánico (LED)

Los primeros diodos construidos fueron los diodos infrarrojos y de color rojo, permitiendo el desarrollo tecnológico posterior la construcción de diodos para longitudes de onda cada vez menores. En particular, los diodos azules fueron desarrollados a finales de los años noventa por Shuji Nakamura, añadiéndose a los rojos y verdes desarrollados con anterioridad, lo que permitió por combinación de los mismos la obtención de luz blanca. El diodo de

seleniuro de zinc puede emitir también luz blanca si se mezcla la luz azul que emite con la roja y verde creada por fotoluminiscencia. La más reciente innovación en el ámbito de la tecnología LED son los diodos ultravioleta, que se han empleado con éxito en la producción de luz negra para iluminar materiales fluorescentes.

Hoy en día, se están desarrollando y empezando a comercializar diodos emisores de luz con prestaciones muy superiores a las de hace unos años y con un futuro prometedor en diversos campos, incluso en aplicaciones generales de iluminación. Como ejemplo, se puede destacar que Nichia Corporation ha desarrollado diodos emisores de luz blanca con una eficiencia luminosa de 150 lm/W, utilizando para ello una corriente de polarización directa de 20 miliamperios (mA). (Gobierno de Chile, 2008).

7.1.8. Lámparas de Diodos de Luz de Origen Orgánico (OLED)

El comienzo del siglo XXI ha visto aparecer los diodos OLED (orgánicos), fabricados con polímeros orgánicos semiconductores. Aunque la eficiencia lograda con estos dispositivos está lejos de la de los diodos inorgánicos siendo biodegradables, su fabricación promete ser considerablemente más barata, además es posible depositar gran cantidad de diodos sobre cualquier superficie empleando técnicas de pintado para crear pantallas en color.

El OLED es un diodo basado en una capa electroluminiscente que está formada por una película de componentes orgánicos, y que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos.

7.2. Ahorro de energía en luminarias

La iluminación es un apartado que representa un elevado consumo eléctrico dentro de una comunidad de vecinos. Aun así, dependiendo de su tamaño y del clima de la zona donde está ubicada, este consumo puede oscilar de un 25% hasta un 60%.

Se estima que podrían lograrse reducciones de entre el 20 % y el 85 % en el consumo eléctrico de iluminación, merced a la utilización de componentes más eficaces, al empleo de sistemas de control y a la integración de la luz natural.

7.2.1. Dispositivos para el ahorro de energía en luminarias

La luminaria es el elemento donde va instalada la lámpara y su función principal es la de distribuir la luz producida por la fuente, en la forma más adecuada a las necesidades.

Muchas luminarias modernas contienen sistemas reflectores cuidadosamente diseñados para dirigir la luz de las lámparas en la dirección deseada. Por ello, la remodelación de instalaciones viejas, utilizando luminarias de elevado rendimiento generalmente conlleva un sustancial ahorro energético, así como una mejora de las condiciones visuales. (Enríquez, 2004).

7.2.2. Balastros electrónicos

Los balastros electrónicos no tienen pérdidas debidas a la inducción ni al núcleo, por lo que su consumo energético es notablemente inferior.

La tecnología de los balastros energéticos de alta frecuencia permite además la regulación de la intensidad de la lámpara, lo cual a su vez permite adaptar el nivel de iluminación a las necesidades. (Enríquez, 2004).

7.2.3. Aprovechamiento de luz diurna

El uso de la luz diurna tiene un impacto considerable en el aspecto del espacio iluminado, y puede tener implicaciones importantes al nivel de la eficiencia energética.

Los ocupantes de un edificio generalmente prefieren un espacio bien iluminado con luz diurna, siempre que se eviten los problemas de deslumbramiento y de calentamiento. Los principales factores que afectan a la iluminación de un interior, mediante luz diurna, son la profundidad de la habitación, el tamaño y la localización de ventanas y claraboyas, de los vidriados utilizados y de las sombras externas. (Sánchez, 2006).

7.3. Confort visual en iluminación

El confort visual se define como el flujo luminoso adecuado para una buena visualización sin hacer un esfuerzo de la vista. El confort también relaciona el color de la iluminación que puede ser blanco o amarillo en áreas de trabajo, se recomienda un tono blanco y en hogares un color amarillo que es un tono más relajante.

Los sistemas de automatización en luminarias producen un confort contando con controles centrales de fácil acceso. (Sánchez, 2006).

7.3.1. Problemas a la salud por el riesgo visual

La mala iluminación produce que la vista se dañe y sea necesario tener tratamientos para corregirla con anteojos u operaciones láser. Se trata de que el área iluminada proporcione al ojo la luz necesaria para no forzar la vista. (Sánchez, 2006).

7.3.2. Efecto estroboscópico

Se produce en las lámparas de fluorescencia debido al parpadeo u oscilación que no es visible al ojo humano, pero provoca cansancio en la vista en exposiciones de mucho tiempo.

7.3.3. Óptica de la de iluminación

La fuerza de una lámpara o cualquier otra fuente de luz está expresado por una cantidad llamada intensidad luminosa. Ésta magnitud está medida en unidades de intensidad luminosa o *standardcandle*, una unidad que va luego del uso del ordinario *waxcandle* o vela de cera como fuente de luz. La unidad de intensidad luminosa es la candela, la definición de la cual puede ser encontrada en textos más avanzados. Comosea, la candela se aproxima a la unidad lumínica estándar y entonces las unidades modernas son un poco complicadas para usar. (Enríquez, 2004).

7.3.4. Colores confortables de iluminación

La luz blanca (espectro visible) compuesta por los colores del arco iris. Está ordenado desde el violeta con menor longitud de onda y mayor frecuencia hasta el rojo con menor frecuencia y mayor longitud de onda. (Enríquez, 2004).

Figura No.1. **Espectro visible por el hombre**



Fuente: elaboración propia.

7.3.5. Normas de *American Society for Testing and Materials* (ASTM) de iluminación

El color y la apariencia de los materiales dependen de la geometría, calidad y naturaleza espectral de la iluminación, así como de las condiciones del entorno y ambiente de revisión. La norma de revisión ASTM D1729-96 especifica las condiciones para la apreciación visual crítica del color para su igualación. El uso de fuentes de iluminación espectralmente disimilares permite la detección efectiva de una igualación de color condicional o con metamerismo (una buena igualación de color bajo una fuente de luz pero una diferencia de color bajo una fuente de luz diferente). Una función igualmente importante de la norma es permitir la comunicación efectiva de color entre todos los que trabajan conjuntamente en proyectos críticos de color. (Enríquez, 2004).

7.4. Domótica en iluminación

El término domótica significa la automatización de viviendas y edificios. Un buen sistema de control de alumbrado asegura una iluminación de calidad mientras es necesario y durante el tiempo que sea preciso. (Greenpeace, 2011).

Con un sistema de control apropiado pueden obtenerse sustanciales mejoras en la eficiencia energética de la iluminación de un edificio. Un sistema de control de la iluminación completo combina sistemas de control de tiempo, sistemas de control de la ocupación, sistemas de aprovechamiento de la luz diurna y sistemas de gestión de la iluminación.

7.4.1. Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación y se transforman en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: la intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad etc.

7.4.2. Controladores y software

Reciben la información de los sensores la procesan por medio software y mandan las órdenes a los actuadores.

7.4.3. Actuadores

Ejecutan una orden del sistema de control como el encendido o apagado de una luminaria.(Greenpeace, 2011).

7.5. Auditoría de energía en luminarias

La auditoría energética se define como un procedimiento sistemático para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos en una instalación, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía

desde el punto de vista técnico y económico. Dichas valoraciones suponen generalmente mejoras en la calidad de los servicios prestados, mejoras económicas y mejoras medioambientales.(Sánchez, 2006).

7.5.1. Cuantificación de la eficiencia energética

La iluminancia es un parámetro muy sensible a cualquier cambio en la orientación de la onda, altura a la que se sitúa, sombras, etc. y existen grandes divergencias entre las lecturas de diferentes aparatos (el margen de error suele ser, por lo tanto, grande). Además, el rango de sensibilidad del ojo humano es amplísimo: desde unos pocos hasta decenas de miles de luxes.

A la hora de realizar estas mediciones el número mínimo de puntos a considerar dentro de la zona que queremos evaluar dependerá del índice del local (K) y de la obtención de un reparto cuadrulado simétrico. La influencia que tiene las dimensiones del local sobre el rendimiento de las luminarias viene dado por este índice K, que se calcula mediante las siguientes expresiones:

En el caso de que la emisión de flujo luminoso de las luminarias sea directa, predominantemente directo y uniforme:

$$K = L \cdot A / H \cdot (L + A). \text{ (Ecuación 1)}$$

En el caso de las luminarias sean indirectas y predominantemente indirectas:

$$K = 3 \cdot L \cdot A / 2 \cdot H' \cdot (L + A). \text{ (Ecuación 2)}$$

En donde:

L = longitud del local

A = anchura del local

H = distancia entre el plano de trabajo (generalmente se considera 0,85 m sobre el suelo) y el plano horizontal de las luminarias emplazadas colgadas del techo, adosadas a éste o empotradas en el mismo.(Sánchez, 2006).

El número de puntos mínimos a medir será:

$K < 1 = 4$ puntos

$K \geq 1$ y $< 2 = 9$ puntos

$K \geq 2$ y $< 3 = 16$ puntos

$K \geq 3 = 25$ puntos

7.5.2. Cuantificación de la potencia eléctrica en luminarias

Para cuantificar la potencia eléctrica usamos un wattímetro que mide la cantidad de watts consumidos de cualquier dispositivo electrónico.(Sánchez, 2006).

7.5.3. Parámetros luminotécnicos

De conformidad con la normativa vigente, especialmente la norma UNE-EN 12464-1 (Norma Europea sobre Iluminación para Interiores), se establecen para cada local a iluminar los siguientes parámetros luminotécnicos:

- Iluminancia media (E_m) en lux a mantener (valor mínimo)
- Índice de deslumbramiento unificado UGRL (valor máximo)
- Índice de rendimiento de color Ra (valor mínimo)

7.5.4. Proyectos de iluminación

La iluminación interior de los espacios comunes privados de las comunidades de propietarios, requiere un adecuado planteamiento profesional que deberá plasmarse en un buen proyecto de iluminación.(Sánchez, 2006).

7.6. Diseño de aula con iluminación eficiente y confortable

El diseño del aula dependerá de varios factores como lo es la ubicación del salón, el tamaño o área del salón, el uso o la frecuencia que lo usan los catedráticos y estudiantes, el uso de dispositivos con mayor eficiencia y que proporcionen la mejor iluminación.

7.6.1. Dimensionamiento de la iluminación

Las instalaciones de iluminación interior en las diferentes zonas comunes, exigen elaborar el proyecto de iluminación teniendo presentes previamente datos y parámetros iniciales tales como:

- Tipología de la zona a iluminar
- Utilización de la zona a iluminar
- Niveles de iluminación necesarios
- Dimensiones de los espacios a iluminar (índice K del local)
- Reflectancias de paredes, techos y suelos de las zonas
- Condiciones de la luz natural
- Características de los techos
- Tipo de acabado y pintura
- Mobiliario previsto

7.6.1.1. Iluminancias

Se calcularán en servicio por lo que se considerará la depreciación del flujo luminoso de las lámparas y su supervivencia, las pérdidas por ensuciamiento de las luminarias y la reducción de los factores de reflexión de las superficies de la zona iluminada. En general, para entornos limpios (portales, escaleras, rellanos, etc.), puede tenerse en cuenta un factor de mantenimiento $f_m = 0,8$. En locales tales como almacenes, garajes, salas técnicas, zonas de circulación en sótanos, en función del grado de suciedad, se adoptarán los siguientes factores de mantenimiento:

- Entorno limpio 0,80
- Entorno medio 0,55

7.6.1.2. Deslumbramiento modesto

El índice del deslumbramiento molesto directamente procedente de las luminarias de una instalación de iluminación interior se determinará utilizando el

método de tabulación del “Índice de Deslumbramiento Unificado” (UGRL) propuesto por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), basado en la expresión:

$$UGRL = 8 \log_{10} \left[\frac{0,25}{L_b} \sum_{I}^N \frac{L^2 \omega}{P^2} \right] \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- L es la iluminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador, en cd/m^2 .
- ω es el ángulo sólido subtendido por las partes luminosas de cada luminaria y el ojo del observador (estereorradianes).
- P es el índice de posición de guth para cada luminaria individual, que se relaciona con su desplazamiento en relación con el eje visual.
- N es el número de luminarias.
- L_b es la iluminancia de fondo en cd/m^2 , que se define como la luminancia uniforme de todo el entorno del campo visual, que produciría la misma iluminancia sobre un plano vertical en el ojo del observador, excluyendo la iluminancia producida directamente por las luminarias.

L_b se calcula mediante la fórmula:

$$L_b = E_i / \pi \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde E_i es la iluminancia indirecta en el ojo del observador, en lux.

7.6.1.3. Rendimiento de color

El color es aquella cualidad de los objetos de absorber unas determinadas longitudes de onda del espectro visible y reflejar otras. El color que presenta un

objeto depende de la distribución de la energía espectral de la luz con que está iluminado y de las características reflexivas de dicho objeto.

Las propiedades de reproducción del color de las lámparas marcarán la exactitud de la percepción del color y se describen mediante el índice (Ra). Este índice de reproducción de color (Ra) se clasificaría en grupos que irían de Ra > 90 (muy buena) a Ra < 40 (muy baja).

7.6.1.4. Rendimiento de luminaria

El rendimiento de una luminaria (η) se define como la relación entre el flujo luminoso total emitida por la luminaria y la suma de los flujos luminosos de las lámparas individuales instaladas en su interior. El rendimiento de una luminaria depende fundamentalmente del tipo de fuente de luz, de la calidad del sistema óptico y diseño del mismo que incorpore la luminaria.

Para la iluminación general se recomienda que como mínimo el rendimiento de la luminaria sea $\eta = 0,60 - 0,70$. En la iluminación de acento dicho valor mínimo aconsejable será $\eta = 0,45 - 0,50$.

7.6.1.5. Factor de utilización

Se define el factor de utilización (F_u) como la relación entre el flujo útil procedente de la luminaria que incide sobre la zona a iluminar y el flujo emitido por la totalidad de las lámparas instaladas en la luminaria. El tipo de curva de distribución de las intensidades luminosas determina el nivel de aprovechamiento de la luz emitida por la luminaria. Distintas tareas y dispares factores geométricos del local exigen diferentes distribuciones de luz, para optimizar la iluminación a la función requerida.

El factor de utilización es función de los siguientes parámetros:

- Características geométricas o índice del local (K).

$$K = \frac{L \cdot A}{H(L + A)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Siendo: L = longitud del local, A = anchura del local, H = distancia del plano a iluminar a las luminarias.

- Rendimiento de la luminaria (η).
- Clase fotométrica de la luminaria (distribución espacial de la intensidad).
- Modo de instalación de las luminarias en el local (implantación).
- Factores de reflexión de las paredes, techo del local y plano útil iluminado.

En función del índice del local (K), los valores medios del factor de utilización de la instalación son los siguientes:

Tabla I. Índice del local y factor de utilización

Índice del local	Factor de Utilización (valores medios)	Factor de utilización (intervalo)
$k > 1.5$	0.4	0.30 - 0.50
$1.5 \leq k < 3$	0.5	0.375 - 0.625
$k > 3$	0.6	0.45 - 0.75

Fuente: elaboración propia.

Los diagramas de distribución de la intensidad luminosa informan sobre la luminaria que mejor cumple los requerimientos deseados. Por tanto, el examen y valoración de dichos diagramas suministrados por los fabricantes constituyen la guía para elegir la luminaria más eficiente para la iluminación en estudio.

7.6.2. Métodos de cálculo de la iluminación

Se llevará a efecto el cálculo luminotécnico por el método punto por punto, bien manualmente o mediante programa informático, solvente y fiable debidamente contrastado, asociado al método de cálculo. El método de cálculo utilizará como datos de partida los señalados en el dimensionamiento, así como los derivados de los materiales adoptados en las soluciones propuestas, tales como lámparas, equipos auxiliares, luminarias, etc.

7.6.3. Desarrollo del aula de iluminación eficiente y confortable

En el desarrollo y realización del proyecto deberán seguirse, entre otras, las siguientes secuencias:

- Establecimiento del índice del local (K) utilizado en el cálculo.
- Fijación del factor de mantenimiento (fm) previsto.
- Señalamiento del tono de luz o temperatura de color (Tc), del rendimiento de color (Ra) y eficacia luminosa (Efl) de las lámparas adoptadas.
- Selección de las luminarias y proyectores a instalar, con detalle de la clase (distribución de la intensidad luminosa), rendimiento, control del deslumbramiento, etc.
- Modo de instalación de las luminarias y proyectores, así como determinación del factor de utilización de la instalación.

- Determinación de la iluminancia media horizontal mantenida (E_m) y, en su caso, iluminancia media vertical mantenida (E_v) e índice de deslumbramiento unificado (UGRL).
- Evaluación de la uniformidad de iluminancia general y en su caso extrema.
- Aprovechamiento cuando sea posible de la luz natural.
- Cálculo de los Valores de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI).
- Control y regulación de la luz apropiadas a las necesidades.
- Delimitación de los criterios, en su caso, de distancia mínima entre la fuente luminosa y el objeto iluminado para protección de las altas temperaturas.
- Implantación, cuando sea necesario, de sistemas de filtros y protectores de luz contra las radiaciones ultravioletas (UV) e infrarrojas (IR).

7.6.3.1. Patrocinadores e inversionistas

El proyecto invitará a un máximo de tres proveedores de iluminación LED y automatización a colaborar en el proyecto los patrocinadores elegidos serán tomados en cuentas en futuras compras de la Facultad de Ingeniería. Se solicitará cooperación de los estudiantes de la maestría de Energía y Ambiente. Se les solicitará a las autoridades de la Facultad de Ingeniería que contribuyan con fondos.

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Un aula con sistemas de iluminación de Diodos Emisores de Luz (LED) y dispositivos de automatización de luminarias reducen los costos de energía eléctrica, mejoran las condiciones de salud visual de los estudiantes y catedráticos, reducen el impacto ambiental que produce la generación de energía.

Variables independientes

- Cambio de lámparas de fluorescencia por lámparas de diodos emisores de luz (LED)
- Implementación de dispositivos de automatización de luminarias

Indicadores

- Potencia eléctrica consumida en watts
- Flujo luminoso por metro cuadrado
- Efecto Estroboscópico o parpadeo
- Energía consumida por kilowatt/hora

9. CONTENIDO

El contenido de presente trabajo se enfoca en mostrar los resultados que miden el ahorro de energía y la calidad de iluminación, debido al cambio de los dispositivos actuales por dispositivos de iluminación más eficientes y automatizados.

Capítulo I

Eficiencia energética de luminarias

La eficiencia energética es el menor consumo de energía que puede producir una luminaria por medio de dispositivos que producen mayor flujo luminoso con pequeñas cantidades de energía. En este capítulo se pretende explicar el concepto de eficiencia energética y mostrar los diferentes tipos de luminarias que han evolucionado en su desarrollo tecnológico. El ahorro de energía produce muy buenos beneficios en el consumo y reduce el impacto ambiental por la generación de energía.

Capítulo II

Diseño de aula con iluminación eficiente y confortable

El diseño de un aula con iluminación eficiente inicia midiendo el dimensionamiento de la iluminación, utiliza parámetros lumínicos que ayudan a calcular la iluminación adecuada en un área específica para un grupo

determinado de personas, el deslumbramiento modesto evita el riesgo visual, el rendimiento de color tiene que ser adecuado para crear un lugar confortable dependiendo de las actividades que se desean realizar midiendo el factor de utilización.

El diseño pretende contar con una buena iluminación fría o cálida dependiendo del uso, con bajo consumo de energía y usando sensores de presencia.

Capítulo III

Desarrollo del aula de iluminación eficiente y comfortable

Para el desarrollo se obtendrán los costos de los dispositivos más eficientes estableciendo un presupuesto. Se buscarán patrocinadores locales e internacionales que estén interesados en financiar el proyecto. Se evaluarán las luminarias y equipos de automatización para medir su eficiencia. Se tomará en cuenta por medio de entrevistas la precepción de los estudiantes y catedráticos evaluando el sistema tradicional y los dispositivos automatizados.

Capítulo IV

Viabilidad económica

Por medio de un análisis costo-beneficio se pretende obtener el tiempo de recuperación de la inversión en base a los beneficios que se obtendrán de los dispositivos con mayor eficiencia, como un menor consumo de energía y los beneficios de mejoramiento visual.

Capítulo V

Huella ecológica

La medición de la huella ecológica permite medir la disminución del impacto ambiental producido por la disminución de consumo de energía. Instituciones internacionales reconocen este beneficio a nivel global otorgando acreditaciones de edificios.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

El tipo de metodología de investigación que se utilizará es experimental, el estudio se diseñó en tres fases: la primera consiste en obtener el lugar, materiales y autorizaciones para realizar el estudio. En la segunda fase se obtendrán todos los datos cualitativos y cuantitativos en las condiciones del aula tradicional y el aula prototipo con nuevos dispositivos instaladas de control automatizado e iluminación más eficiente. En la tercera fase se compararán por medio de métodos estadísticos descriptivos, los datos obtenidos en el aula tradicional y los datos obtenidos en el aula con nuevos dispositivos para obtener los resultados del estudio experimental, que permita mostrar los resultados que definan las ventajas y desventajas de las nuevas tecnologías de control automatizado e iluminación eficiente en aulas.

Los datos que se tomarán en la segunda fase se realizarán con un medidor de potencia eléctrica y un medidor de flujo luminoso, estos permitirán obtener el consumo eléctrico de cada dispositivo y el flujo luminoso o intensidad lumínica. Se instalará un contador de energía eléctrica independiente en el aula prototipo por un período de treinta días, con los dispositivos tradicionales y treinta días con los nuevos dispositivos, se tomaran lecturas de consumo de energía en kW/h.

Para obtener los datos cualitativos de la segunda y cuarta fase se realizarán evaluaciones a estudiantes y catedráticos con 20 preguntas de opción múltiple, con una muestra mínima de 100 personas para poder describir las percepciones de la mayoría de usuarios. La estadística descriptiva abarca técnicas analíticas y gráficas para organizar, resumir y presentar la información,

con el fin de representar o describir visualmente un conjunto de datos que corresponden a una situación de interés.

Se usará una tabla estadística de frecuencia para presentar los datos de una forma ordenada y poder comparar mejor los resultados.

Se harán varias representaciones gráficas como histogramas, gráficas de pastel, diagramas de dispersión ó polígonos de frecuencia. Se realizará un muestreo adecuado de muestra que permita obtener los datos necesarios para determinar los efectos de percepción visual de estudiantes y catedráticos.

Para terminar la descripción se usarán las medidas de tendencia central: moda, mediana, dispersión como la varianza y la desviación estándar.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El trabajo de investigación se desarrollará en un período de tres meses iniciando en febrero del 2013 y finalizando en abril del 2013

Tabla II. Cronogramas de actividades

Actividades	febrero				marzo				abril			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recaudar fondos	■	■										
Elegir el lugar para el prototipo	■											
Conseguir los permisos de la USAC	■											
Instalación de contador			■									
Recopilar resultados de luminarias tradicionales			■	■	■	■						
Instalación de sistemas de control de iluminación							■					
Instalación de luminarias LED, marca de proveedor número 1							■					
Recopilar resultados de luminarias marca de proveedor número 1							■					
Instalación de luminarias LED, marca de proveedor número 2							■					
Recopilar resultados de luminarias marca de proveedor número 2							■					
Instalación de luminarias LED, marca de proveedor número 3							■					
Recopilar resultados de luminarias marca número 3							■	■	■	■		
Evaluación de estudiantes y catedráticos					■	■			■	■		
informe final										■	■	■

Fuente: elaboración propia.

12. RECURSOS NECESARIOS

En el rubro de recursos humanos se colocarán todos los costos de pago a los profesionales que realizarán en el proyecto, estos costos pueden variar dependiendo del tiempo que requieran las mediciones y evaluaciones.

Tabla III. **Costos de recursos humanos**

Recursos Humanos	Costo por Hora	Total por tres meses
Asesor	Q100.00	Q2500.00
Estudiante	Q100.00	Q2500.00
Electricista	Q200.00	Q5000.00
Imprevistos	Q200.00	Q2000.00
	Total Recursos Humanos	Q12,000.00

Fuente: elaboración propia.

Los costos de materiales equipos son todos los dispositivos que se utilizarán para diseñar el aula prototipo que depende de los costos del mercado en el período que se realice el proyecto, los productos son de proveedores nacionales y en algunos casos de proveedores internacionales.

Tabla IV. **Materiales e insumos**

Materiales e insumos	Cantidad	Costo Unitario	Total por tres meses
Lámparas Led	32	Q450.00	Q14,400.00
Sensores	2	Q1,000.00	Q3,000.00
Actuadores	2	Q1,550.00	Q3,100.00
Cámaras IP	2	Q1,200.00	Q3,400.00
		Total Materiales	Q20,500.00

Fuente: elaboración propia.

La infraestructura que se utilizará es la ya existente en la Facultad de Ingeniería, Campus Central la cual no se modificará por lo que se espera no tenga algún costo.

Tabla V. **Infraestructura**

Infraestructura	Costo	Total por tres meses
Aula Prototipo	0.00	0.00
	Total de inversión	Q35,900.00

Fuente: elaboración propia.

Los fondos para el proyecto se obtendrán por medio del patrocinio de empresas privadas como Luxlite, In-Led, organizaciones ambientales, cooperación de estudiantes de la Maestría de Energía de Ambiente. El aula prototipo quedara para uso principal de estudiantes de la Maestría de Energía y Ambiente, y para motivarlos en realizar proyectos que ayuden a la Facultad de Ingeniería a estar a la vanguardia en sistemas de energía eficiente que contribuyan a mejorar el medio ambiente.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. Ernesto Budia Sánchez (2006), Modelo de auditoría energética en el sector industrial. Proyecto de fin de carrera. (Tesis Ing. Universidad Carlos III). España.
2. Eva Llera Sastresa, Alfonso Aranda Usón, Ignacio Zabalza Bribián (2010), Eficiencia energética en instalaciones y equipamientos de edificios. Prensas Universitarias de Zaragoza. España.
3. Francisco Javier Rey Martínez, Eloy Velasco Gómez. (2006) Eficiencia energética en edificios. Thomson editores. España.
4. Gilberto Enríquez Harper (2004). El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. Editorial Limusa. Grupo Noriega editores. México.
5. Guía verde de eficiencia energética (2011). Greenpeace Argentina. Recuperado el 28 de mayo de 2012.
http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2011/guia_verde_eficiencia_2011.pdf
6. Guía práctica de eficiencia energética (2008). Gobierno de Chile. Recuperado el 28 de mayo de 2012.
http://www.chilecompra.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=726&Itemid=468&lang=es

