



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**Propuesta de luminarias LED
para reducir el consumo
eléctrico de la planta baja del
laboratorio L3**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Industrial

PRESENTA

Arturo Sebastián Mercado Martínez

DIRECTOR DE TESIS

M. en I. Armando Gómez Monreal



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a dios que siempre ha estado soportando mis acciones por muy inusuales que sean.

También quiero a gradecer a la universidad porque me dio educación y conocimientos desde el final de la adolescencia hasta la juventud. Agradezco inconmensurablemente a todos los profesores que me guiaron con su gran ejemplo profesional, así como su ejemplo como seres humanos.

Igual agradezco a mi familia por mantenerme bajo su techo y permitirme acabar mis estudios.

Por último, agradezco a mi barrio y a mi gente mexicana por enseñarme el coraje para cumplir los objetivos.

Propuesta de luminarias LED para la reducción del consumo eléctrico de la planta baja del laboratorio L3

Resumen

Esta tesis es una propuesta, desarrollada en el laboratorio L3 de eléctrica electrónica de la Facultad De Estudios Superiores Aragón, que tiene por objetivo comprobar teóricamente la reducción del consumo de energía eléctrica y la eficiencia lumínica con iluminación LED (Light Emission Diode, Diodo Emisor de luz). La investigación Fue desarrollada sobre tres aspectos lumínicos: el estudio analítico con el método de lumen, la simulación asistida por el software DIALux y el análisis de reducción de costo con tarifa GDMTH (Gran Demanda Media Tensión Horaria).

Primero, se midió la planta baja del laboratorio con flexómetro y con cinta métrica de 50 m, segundo se eligieron dos propuestas de luminarias tipo Diodo Emisor de Luz eficientes seleccionadas por la cantidad de luxes, consumo eléctrico y costo. Luego, Se asignaron los luxes según NOM-025-STPS (Norma 025 de la Secretaría del Trabajo y Prevención Social). Así se ejecutó el método de lumen evaluando las dos propuestas y obteniendo la mejor. Posteriormente, se dibujó el mapa de la planta baja del laboratorio en el software AutoCAD importándolo al Software DIALux se realizó la simulación con los datos obtenidos en método de lumen.

Finalmente, se hizo el estudio de costo del consumo eléctrico actual con luminarias fluorescentes y uno con luminarias LED, además, de calcular el retorno de la inversión.

Contenido

Lista de variables.....	7
Capítulo I. Introducción.....	8
1.1 Descripción.....	8
1.2 Problemática	8
1.3 Problema.....	9
1.4 Justificación.....	10
1.5 Hipótesis	10
1.6 Objetivo general.....	11
1.7 Objetivos particulares	11
Capítulo II. Marco Teórico.....	12
2.1 Magnitudes y unidades luminosas.....	12
2.1.1 Concepto de ángulo sólido	13
2.1.2 Intensidad luminosa	14
2.1.3 Flujo luminoso.....	14
2.1.4 Emitancia	15
2.1.5 Luminancia	16
2.1.6 Eficiencia de luminarias.....	16
2.2 Sistema visual humano	17
2.2.1 Percepción.....	18
2.2.2 La estructura del ojo humano	19
2.3 Actividad neuromotora.....	21
2.4 Luz LED	25
2.4.1 Funcionamiento interno LED	26
2.5 Método de lumen.....	28
2.5.1 Coeficiente de reflexión	32
2.5.2 Coeficiente de utilización.....	33
2.5.3 Factor de mantenimiento.....	34
2.6 Costo Consumo eléctrico CFE	35
2.6.1 Esquema Tarifario CFE	36

2.6.2	Cuotas para Valle Norte de México.....	40
2.6.3	Periodo Punta, intermedio y Base.....	41
2.6.4	Conceptos de pago CFE.....	45
Capítulo III. Selección de luminaria.....		48
3.1	Propuestas de luminarias LED.....	48
3.1.1	Primera opción.....	48
3.1.2	Segunda opción.....	49
3.2	Evaluación de luminaria.....	49
3.2.1	Eficiencia de luminarias.....	49
3.2.2	Costo de inversión.....	50
3.2.3	Consumo eléctrico.....	50
Capítulo IV. Estudio luminotécnico.....		53
4.1	Iluminación actual de la planta baja del L3 NOM-025-STPS.....	53
4.2	Distribución de luminarias actualmente.....	54
4.3	Consumo eléctrico actual.....	55
4.3.1	Luminarias Fluorescentes OSRAM con balastro teórico.....	55
4.3.2	Luminarias Fluorescentes Osram con balastro real.....	56
4.3.3	Mapa planta baja del laboratorio de eléctrica electrónica.....	58
4.3.4	Estudio luminotécnico método de lúmen para primera propuesta.....	58
4.3.5	Estudio luminotécnico método de lúmen para segunda propuesta.....	63
4.4	Estudio luminotécnico asistido por Software DIALux.....	67
4.4.1	Planta baja del laboratorio L3.....	67
4.4.2	Simulación en 3D laboratorio L3 y curvas fotométricas.....	68
4.4.3	Resultados de simulación en DIALux.....	70
4.5	Consumo eléctrico.....	75
Capítulo V. Costos Consumo eléctrico CFE.....		77
5.1	Consumo real eléctrico por iluminación.....	77
5.1.1	Consumo eléctrico semanal con luminarias fluorescentes en invierno.....	79
5.1.2	Consumo eléctrico semanal con luminarias fluorescentes en verano.....	80
5.1.3	Consumo eléctrico semanal con luminarias LED en invierno.....	81

5.1.4	Consumo eléctrico semanal con luminarias LED en verano	82
5.2	Periodo de estudio de costo eléctrico por iluminación.	83
5.3	Costo de iluminación actual con luminarias fluorescentes	84
5.3.1	Agosto 2018	84
5.3.2	Septiembre 2018	84
5.3.3	Octubre 2018	85
5.3.4	Noviembre 2018	86
5.4	Costo de iluminación con luminarias LED en semestre 2019-I	87
5.4.1	Agosto 2018	87
5.4.2	Septiembre 2018	88
5.4.3	Octubre 2018	88
5.4.4	Noviembre 2018	89
5.5	Costo total por iluminación en Semestre 2019-I	90
5.6	Retorno de la inversión.....	92
	Resultados y Conclusiones	95
	Resultados.....	95
	Discusión y conclusiones	97
	Referencias	99
	Referencias de figuras.....	101
	Referencias de tablas.....	103
	Anexos	104
	Anexo 1 Método Interpolación lineal de Lagrange.....	104
	Anexo 2 Ajuste utilizando el método de mínimos cuadrados.....	107
	Anexo 3 NOM-025-STPS.....	109
	Anexo 4 Vida útil de luminarias LED por salón	111
	Anexo 5 Breve historia de la iluminación.....	113

Índice de figura

Figura 1. Variables luminotécnicas.....	12
Figura 2. Ángulo sólido	13
Figura 3. Sistema visual humano	17
Figura 4. Estructura del ojo humano	19
Figura 5. Tecnología LED	27
Figura 6. Esquema tarifario.....	37
Figura 7. Incremento del kW en la tarifa GDMTH.....	43
Figura 8. Costo fijo, capacidad y distribución en la tarifa GDMTH.....	44
Figura 9. Corriente eléctrica de lámpara Montana.....	51
Figura 10. Corriente en luminaria fluorescente 1.....	56
Figura 11. Corriente en luminaria fluorescente 2.....	56
Figura 12. Planta baja L3	58
Figura 13. Vista Superior planta baja laboratorio L3.....	67
Figura 14. Simulación en 3D de la planta baja del laboratorio L3.....	69
Figura 15. Curvas fotométricas.....	69
Figura 16. Calendario escolar semestre 2019-I.....	83
Figura 17. Comparación gráfica en porcentaje del costo por iluminación fluorescente y LED	92
Figura 18. Vida útil de las luminarias LED del 2020 al 2050 en la planta baja del laboratorio L3.....	94

Índice de Tabla

Tabla 1. Niveles de iluminación.....	24
Tabla 2. Factor de reflexión	33
Tabla 3. Coeficiente de utilización	33
Tabla 4. Factor de mantenimiento.....	34
Tabla 5. Cuotas GDMTH para Valle de México en febrero 2018	40
Tabla 6. Tarifa para horario de verano	42
Tabla 7. Tarifa para horario de invierno	42
Tabla 8. Lámpara Montana	48
Tabla 9. Lámpara MAGG	49
Tabla 10. Eficiencia de luminarias propuestas.....	50
Tabla 11. Costo de inversión de luminarias propuestas	50
Tabla 12. Evaluación entre luminaria Montana y luminaria MAGG	52
Tabla 13. Medidas de luxes por espacio laboral	53
Tabla 14. Distribución de luminarias.....	54
Tabla 15. Especificaciones de balastos	55
Tabla 16. Muestras de luminarias fluorescentes	57
Tabla 17. Resultados de método de lumen para primera propuesta	59
Tabla 18. Número de luminarias LED Montana Primera propuesta	62
Tabla 19. Resultados Método de Lumen para segunda propuesta	63
Tabla 20. Número de luminarias LED MAGG para segunda propuesta	66
Tabla 21. Resultados gráficos de la simulación en DIALux.....	70
Tabla 22. Resultados de simulación en DIALux.....	75
Tabla 23. Comparación de consumo eléctrico teórico contra real.....	76
Tabla 24. Espacios laborales consumo eléctrico real semestre 2019-I.....	77
Tabla 25. Representación semanal de espacios laborales en 24 horas del día.	78
Tabla 26. Representación del consumo eléctrico real con luminarias fluorescente en invierno.	79
Tabla 27. Representación del consumo eléctrico real con luminarias fluorescente en verano.	80
Tabla 28. Representación del consumo eléctrico semanal con luminarias LED en invierno.	81
Tabla 29. Representación del consumo eléctrico semanal con luminarias LED en verano.	82
Tabla 30. Costo del consumo iluminación fluorescentes del 6 al 31 de agosto 2018	84
Tabla 31. Costo iluminación fluorescentes del 1 al 30 de septiembre 2018	85
Tabla 32. Costo iluminación fluorescentes del 1 al 31 de octubre 2018	86
Tabla 33. Costo iluminación fluorescentes del 1 al 30 de noviembre 2018	86
Tabla 34. Costo del consumo eléctrico por luminarias LED del 6 al 31 de agosto 2018.....	87
Tabla 35. Costo del consumo eléctrico por luminarias LED del 1 al 30 de septiembre 2018	88
Tabla 36. Costo del consumo eléctrico por luminarias LED del 1 al 31 de octubre 2018	89
Tabla 37. Costo del consumo eléctrico por luminarias LED del 1 al 30 de noviembre 2018	90
Tabla 38. Análisis de costo general en el semestre 2019-I con iluminación fluorescente y LED.....	91
Tabla 39. Periodo de recuperación inversión de luminarias MAGG.....	93

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ángulo sólido	14
Ecuación 2. Intensidad luminosa.....	14
Ecuación 3. Emitancia	16
Ecuación 4. Luminancia.....	16
Ecuación 5. Eficiencia	17
Ecuación 6. Razón de cavidad del cuarto.....	29
Ecuación 7. RCR.....	29
Ecuación 8. Número de luminarias fluorescentes	29
Ecuación 9. Flujo luminoso requerido.....	30
Ecuación 10. Número de luminarias	31
Ecuación 11. Número exacto de luminarias.....	31
Ecuación 12. Número de luminarias ancho	32
Ecuación 13. Número de luminarias largo	32
Ecuación 14. Reflectancia	32
Ecuación 15. Demanda de energía eléctrica mensual	45

Para ilustrar las variables de las ecuaciones usadas en esta tesis se hizo la siguiente lista que contiene el nombre de cada variable.

Lista de variables

H_{rc} = Room cavity ratio = Razón de cavidad del cuarto

W = Width = Ancho

L = Length = Largo

E = Necessary lumes = Luminarias necesarias

CU = Coefficient of utilization = Coeficiente de utilización

LLD = Lamp lumen depreciation = Coeficiente de depreciación

LDD = Luminaire dirt depreciation = Coeficiente de suciedad

E = Nivel de iluminación

N = Número de luminarias

ϕ = Flujo luminoso requerido

ϕ_L = Flujo luminoso por luminaria

$S = A = \text{Área}$

$U = CU = \text{Coeficiente de utilización}$

$M = fm = \text{Factor de mantenimiento}$

Helms (1980)

Capítulo I. Introducción

1.1 Descripción

Esta tesis fue desarrollada concretamente para la reducción del consumo eléctrico en la iluminación de la planta baja en el laboratorio L3 de eléctrica electrónica. También contiene el estudio lumínico necesario para cada salón cumpliendo con el requerimiento de la NOM-025-STPS (Norma 025 de la Secretaría del Trabajo y Prevención Social), además, se hizo el análisis de costos.

1.2 Problemática

El costo del kilowatt hora en la tarifa GDMTH (Gran Demanda Media Tensión Horaria) ha incrementado bastante del mes de enero a agosto a causa de la reforma energética en el horario base de \$ 0.60 a \$1.08 en el horario intermedio de \$1.01 a \$1.79 y en la punta de \$1.13 a \$2.10, por esto hay que buscar alternativas para la reducción del consumo eléctrico (CFE, 2018).

Dado que las políticas recientes se dirigen a la sostenibilidad de las escuelas, que ellas mismas paguen sus gastos. Hay que prevenir situaciones críticas como los cortes de energía eléctrica en las escuelas a continuación se presentan casos que fueron publicados en el periódico.

Por un adeudo de 13 mil pesos, correspondiente a tres meses, CFE (Comisión Federal de Electricidad) cortó ayer el servicio a una guardería y a una escuela preparatoria del municipio de Vetagrande de Zacatecas (Valdez, 2018, p. 26).

En meses recientes, CFE ha cortado el servicio de energía eléctrica a unas 40 escuelas de nivel básico por adeudos, principalmente en los municipios de Ecatepec, Nezahualcóyotl y Toluca, informó Raymundo Édgar Martínez Carbajal, secretario de Educación del gobierno del estado de México (Salinas, 2013, p. 45).

Otro problema que se presenta con la iluminación fluorescente es la intermitencia de la corriente alterna que causa la elevación de cortisol en la sangre, que a su vez provoca un mayor parpadeo y en consecuencia aumenta el nivel de estrés fenómeno que no sucede con iluminación LED(Light Emision Diode, Diodo Emisor de Luz), por ejemplo, un estudio alemán dirigido por el psiquiatra Wayne London compara el rendimiento escolar de los alumnos a lo largo del año, en distintas aulas, la mitad tenía luz fluorescente y la otra luz natural. Los alumnos que se encontraban en las clases que tenían iluminación fluorescente perdieron el 65% más de clase por enfermedad (Li, Sullivan, 2016).

Además, según el ISHT (Instituto de Seguridad e Higiene del Trabajador) la iluminación insuficiente es causa de errores, accidentes, fatiga visual, así como otros trastornos visuales (Sanz et al., 2015).

1.3 Problema

Se ha buscado reducir el costo fijo de consumo eléctrico en la FES Aragón (Facultad de Estudios Superiores Aragón), apagando las luces del estacionamiento por las noches. Al no ser suficiente esta opción, se instalaron luminarias LED (Light Emitting Diode,

Diodo Emisor de Luz) en el estacionamiento. Sin embargo, el costo eléctrico continúa siendo reducible (Superintendencia de la FES Aragón, 2018).

El costo variable en el semestre 2019-I de la tarifa GDMTH por iluminación con lámparas fluorescentes en el laboratorio L3 en la planta baja es de \$9,924.48 el cual se puede reducir con luminarias LED. Por otro lado, la distribución de luminarias en los salones no está distribuida uniformemente en toda el área, ya que en los rincones se miden menos luxes que en las bancas, debido a que los equipos de máquinas en las esquinas no se iluminan bien. Además, el consumo eléctrico por luminarias fluorescentes junto con su balastro es de 88.9 Watts y la vida útil de una luminaria fluorescente es de 15 000 horas menor a la luminaria LED 50 000 horas.

1.4 Justificación

Implementando luminarias LED en los salones del laboratorio primero se reduciría el costo eléctrico a más del 500%. Segundo, la distribución de cantidad de luxes sería uniforme en toda el área de cada salón. Tercero, se cumpliría con la iluminación requerida para un espacio de trabajo en la NOM-025-STPS, cuidando la salud visual de los académicos. Además, se disminuye la contaminación por luminarias y balastro.

1.5 Hipótesis

Si se implementan luminarias LED, entonces se reducirá el consumo eléctrico y en consecuencia su costo, se cumplirán los estándares de la NOM-025-STPS, mejorando la iluminación.

1.6 Objetivo general

- Proponer iluminación LED en la planta baja del laboratorio L3, para la reducción del consumo eléctrico, cumpliendo con la NOM-025-STPS en cada espacio laboral.

1.7 Objetivos particulares

- Contextualizar el problema del consumo eléctrico e iluminación actual con luminarias fluorescentes en la planta baja del laboratorio de eléctrica electrónica y proponer una luminaria LED para reducir el consumo eléctrico y mejorar la iluminación.
- Mostrar el conocimiento teórico para desarrollar la propuesta de iluminación LED para la planta baja del L3, respetando la NOM-025-STPS.
- Evaluar dos propuestas de iluminación LED competentes encontradas en el mercado para desarrollar el proyecto de iluminación LED con la mejor luminaria.
- Hacer un estudio luminotécnico actual con iluminación fluorescente, así como un estudio con la propuesta de iluminación LED usando el método de lúmen, comprobando lo con el software DIALux para cumplir con la NOM-025-STPS.
- Hacer el estudio de CFE de costo eléctrico actual con iluminación fluorescente, también uno con la iluminación LED dentro del semestre 2019-I con la tarifa GDMTH para saber cuánto se reduce el costo y en cuanto tiempo se recupera la inversión de las luminarias LED.

Capítulo II. Marco Teórico

2.1 Magnitudes y unidades luminosas

Para dar un panorama completo de iluminación se incluyó este apartado que contiene tanto los conceptos fundamentales de iluminación como las ecuaciones esenciales de iluminación.

Las magnitudes fundamentales de la iluminación sirven para comparar y valorar las diversas fuentes luminosas. En la figura 1 se muestran las variables fundamentales luminotécnicas flujo luminoso, intensidad luminosa, iluminación, emitancia y luminancia.

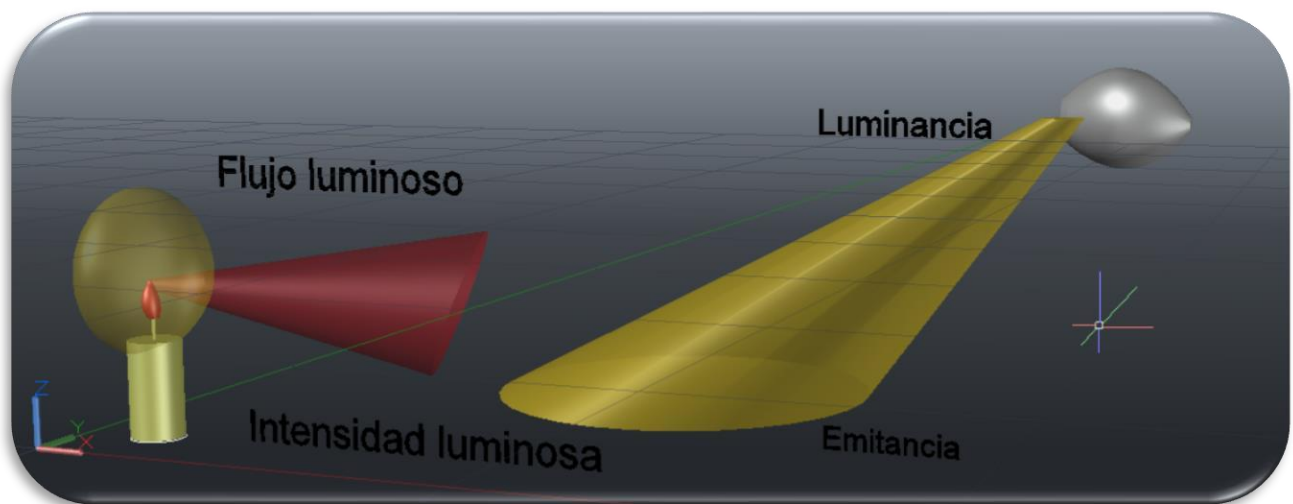


Figura 1. Variables luminotécnicas

Muestra gráficamente los conceptos de luminotécnicos, Flujo luminoso (lúmenes), intensidad luminosa (candelas), luminancia (candelas/m²) y emitancia (lux=lúmenes/m²). La figura de la izquierda es una vela que emite un flujo luminoso hacia el suelo mismo que se convierte en emitancia al chocar en el suelo, a la derecha esta un ojo que recibe la emitancia en forma de luminancia.

Elaboración propia en software AutoCAD Con base en (Ramírez, 1986).

2.1.1 Concepto de ángulo sólido

Según Ramírez (1986) se llama ángulo sólido al formado por la superficie lateral de un cono, cuyo vértice coincide con el centro de una esfera de radio r y cuya base se encuentra desfasada sobre la esfera como se puede observar en la figura 2.

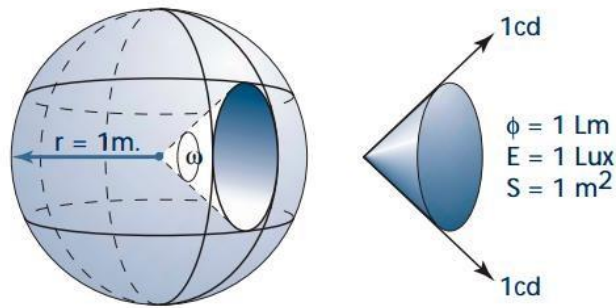


Figura 2. Ángulo sólido

Muestra una esfera cuyo punto medio representa un cono mismo que es la proyección de ángulo sólido.
Con base en (Ramírez, 1986).

También se representan las unidades luminotécnicas, en donde:

Ángulo sólido = S

Radio = r

Flujo lumínico = ϕ

Candelas = cd

La unidad de ángulo sólido se le denomina estereorradián; se puede definir como el espacio formado por un cono cuya base ocupa una superficie de $1 m^2$ sobre una esfera de un metro de radio r y cuyo vértice coincide con el centro de la esfera. La ecuación 1 (Ramírez, 1986) es la expresión matemática para calcular ángulo sólido solo si $r = 1$ donde $\Theta =$ estereorradián.

$$S = 4\pi \theta$$

Ecuación 1. Ángulo sólido

2.1.2 Intensidad luminosa

El concepto de intensidad luminosa se refiere a la cantidad de flujo luminoso puntiforme llamado φ emitido por una manantial G en el cono que comprende una dirección específica G-X cuyo ángulo sólido es ω , se llama intensidad luminosa de la fuente G en dirección G-X, al valor del cociente diferencial del flujo luminoso dividido por el ángulo sólido como se muestra en la ecuación 2 (Ramírez, 1986).

$$I = \frac{d\varphi}{d\omega}$$

Ecuación 2. Intensidad luminosa

2.1.3 Flujo luminoso

Cabe mencionar que naturalmente el flujo luminoso tiene forma puntual, es decir, se haya reducido a un punto del que parten la radiación luminosa en todas las direcciones. La energía luminosa es inherente a toda fuente luminosa debido a la transformación de otra clase de energía: por ejemplo, la luz de una vela es consecuencia de la energía química resultada de la llama del material que compone la vela; la energía eléctrica dentro de una lámpara incandescente genera también es convertida en flujo luminoso en ambos casos no toda la energía se transforma en energía luminosa. Por ejemplo, en la lámpara de incandescencia un bajo porcentaje de energía eléctrica se transforma directamente en energía luminosa y el alto porcentaje restante se transforma en energía calorífica (la lámpara se calienta), otra parte se convierte en energía radiante y

una pequeña parte de dicha energía radiante está comprendida, precisamente, entre las longitudes de onda de 350 nm y 750 nm que son los límites de longitudes de onda que son percibidos por el ojo humano (Ramírez,1986).

Concerniente al consumo eléctrico W (watt) es la medida de la potencia luminosa, es decir, se define como la energía luminosa radiada al espacio por unidad de tiempo, así como la potencia mecánica es la energía mecánica producida o consumida por unidad de tiempo y como potencia eléctrica es la cantidad de energía producida o consumida por unidad de tiempo. Por este principio se permite relacionar el flujo luminoso con la potencia eléctrica consumida, para producirla y es fundamental para evaluar el rendimiento de las luminarias (Ramírez,1986).

Depende del dispositivo empleado para la iluminación, el flujo luminoso de una fuente de luz es la naturaleza de la distribución del flujo luminoso en el espacio. Por ejemplo, en un proyector todo el flujo luminoso se haya reunido en una pequeña porción del espacio en forma de un rayo muy intenso (Ramírez, 1986).

2.1.4 Emitancia

La emitancia también llamada radiancia es el cociente diferencial del flujo luminoso radiado o emitido sobre una superficie luminosa o difusora y la extensión de esta superficie, como se puede ver en el caso más general en la ecuación 3 (Ramírez,1986) mostrada a continuación.

$$R = \frac{d\phi}{dS}$$

Ecuación 3. Emitancia

Se observa que la ecuación de la emitancia y la iluminancia tienen la expresión: diferencial del flujo luminoso la diferencial de la superficie. Pero en el caso de la emitancia se trata de una superficie luminosa que emite luz y en la luminancia se trata una superficie luminosa que recibe luz (Ramírez, 1986).

2.1.5 Luminancia

La luminancia en el argot luminotécnico es también conocida como brillo o densidad luminosa, como se puede ver en la ecuación 4 es el cociente diferencial de la densidad luminosa en una dirección determinada dividida sobre una superficie (Ramírez, 1986).

$$I = \frac{dI}{dL}$$

Ecuación 4. Luminancia

Concerniente a una superficie luminosa esta ecuación también muestra que si se habla de una superficie emisora de luz. La luminancia de una superficie determinada en hacia una dirección es la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la sección aparente de esta superficie para un observador presente en dicha dirección.

2.1.6 Eficiencia de luminarias

Para seleccionar la mejor luminaria es fundamental saber la eficiencia del sistema así que dividiendo la energía que sale E_s sobre la energía que entra E_i se calcula la eficiencia como se muestra en la ecuación 5 (Cesar, 2011).

$$E_f = \frac{E_s}{E_i}$$

Ecuación 5. Eficiencia

2.2 Sistema visual humano

A continuación se muestra en la figura 3 el sistema visual humano donde se presenta el funcionamiento del sistema visual, dado que éste está directamente relacionado con la iluminación se consideró importante incluirlo en la tesis.

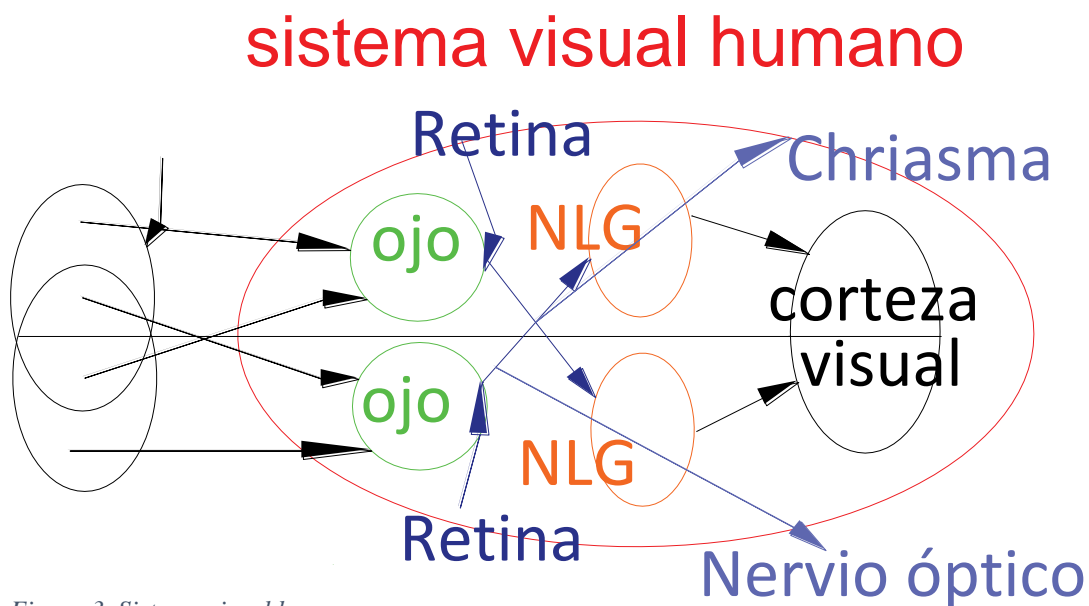


Figura 3. Sistema visual humano

Muestra, grosso modo, las transmisiones neuronales entre ojo, retina, Núcleo Lateral Genuino, NLG y corteza visual para mostrar el campo visual. Elaboración propia, en software AutoCAD, con base en (Khanh et al., 2015)

El lado izquierdo de la figura muestra dos partes sobrepuestas de campos visuales del ojo. Las ópticas de las imágenes del ojo estas dos partes de campos visuales sobre las dos retinas (en el lado izquierdo y el lado derecho) que contienen mosaicos y pre-proceso neuronal de células. En los fotorreceptores de la retina, señales de luz son convertidas en potencial de acción neuronal. Las capas de los procesos de la

retina estas señales las pasan hacia los nervios ópticos hacia el llamado (núcleo lateral genuino) acerca de 90% de los nervios visuales (también llamados nervios ópticos) alcanzan el córtex visual (conteniendo unidades de procesos de diferentes sensaciones visuales e interpretaciones como movimiento, color, estructura espacial, segmentación de un objeto y su reconocimiento) sobre el NLG. Acerca de 10% de las señales de la retina alcanzan otras señales del cerebro (en el parietal y lóbulos temporales) responsable, por ejemplo, de la liberación de hormonas (Khanh et al., 2015).

2.2.1 Percepción

Percepción es un proceso psicológico. El ser humano recibe información física (también llamada estímulo) acerca del estado y cambio del medio ambiente vía órganos sensores que procesan esta información en el cerebro para obtener percepción y tomar decisiones en base a la calidad y magnitud de estas percepciones. El proceso perceptual es flexible: depende del contexto de los estímulos percibidos y también de experiencias previas (conocimiento) de la persona. También debería ser mencionado que no todos los estímulos resultan en percepción: algunos de los estímulos no son percibidos del todo

(Por ejemplo, señales de muy bajo contraste o radiación electromagnética con 2 μm longitudes de onda) (Khanh et al., 2015).

2.2.2 La estructura del ojo humano

La estructura del ojo humano, figura 4, tiene forma de elipsoide con una media de largo a cerca de 26mm y un diámetro a cerca de 24mm. El ojo puede rotar en todas las direcciones por sus músculos. La capa de adentro es llamada Clara, la clara está representada por la córnea transparente del frente. La coroides suministra la retina con oxígeno y nutrición. La retina es foto receptiva se encuentra en el interior del ojo y es una capa que también contiene celdas de preprocesamiento. El cuerpo vítreo es responsable del mantenimiento del ojo. Éste consiste en suspensión de agua (98%) y 2%ácido hialurónico (Khanh et al., 2015).

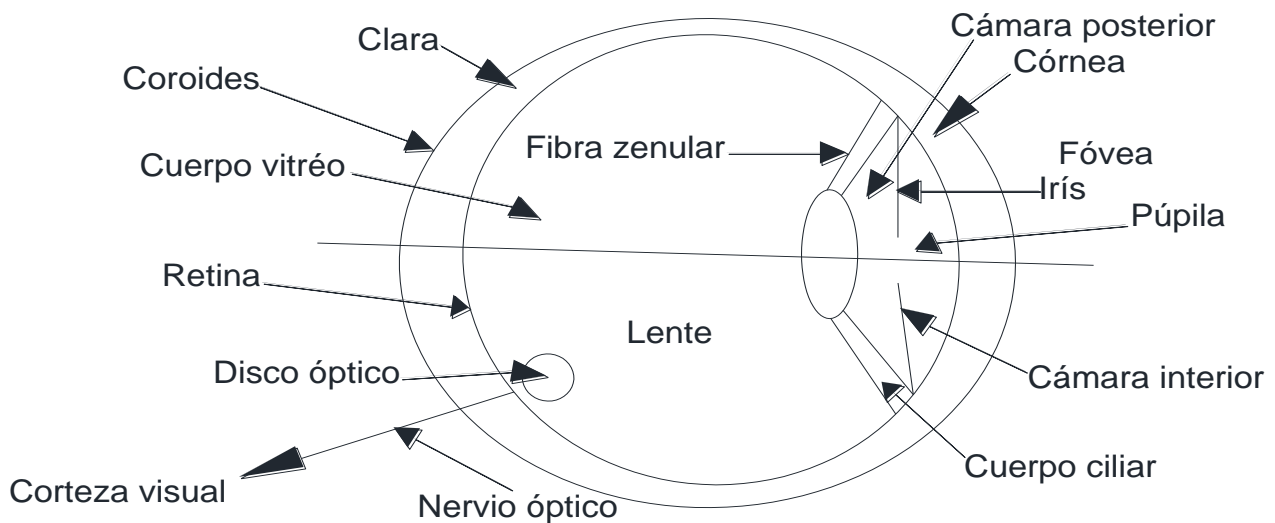


Figura 4. Estructura del ojo humano

La estructura del ojo indica el nombre de sus partes, el nervio óptico es también llamado nervio visual. O, disco óptico – el punto en el cual el nervio óptico pasa hacia el ojo y transmite la señal neuronal procesada de la retina hacia la corteza visual.

Elaboración propia, en software AutoCAD, con base en (Khanh et al., 2015).

El sistema óptico del ojo humano es complejo, pero de forma general, se puede describir como un lente ligeramente descentrado con un sistema proyector, inventor y

reductor de imágenes del medio ambiente hacia la retina. La cornea de la cámara anterior constituye la parte frontal del sistema óptico y la cámara posterior la constituyen el ojo biconvexo y el lente continuo. El lente es retenido por la fibra zenular. Por contracción del músculo ciliar, la distancia focal de la lente puede ser cambiada. El ángulo visual intercepta la retina en la fovea (central), localizando la en la más aguda visión (Khanh et al., 2015).

El parámetro óptico más importante de los componentes en la comunicación del ojo incluye índices refractivos (rango típico entre 1.33 y 1.43) y transmisión espectral de factores. Todos los parámetros son diferentes entre cada persona y están sujetos a cambios significativos en el envejecimiento. Especialmente en alojamiento, agudeza visual y la reacción de la pupila son dañadas con el avance de edad. La transmisión espectral de la comunicación del ojo disminuye con la edad significativamente, especialmente para las longitudes de onda cortas (Khanh et al., 2015).

Después de haber alcanzado la retina, los rayos de luz tienen que viajar hacia la capa de la retina y hacia la retina central, también llamada como nervios ópticos de la mácula lútea (pigmento amarillo que protege la capa de la retina). Antes de alcanzar los foto-receptores ubicados en la parte posterior de la retina, la óptica (designada por la letra "O" en la figura 4), en la cual los nervios ópticos pasan hacia el ojo. Cabe mencionar que la ubicación "O" la retina esta siega debido a que la densidad en los conductos y los conos es igual a cero (Khanh et al., 2015).

2.2.3 Actividad neuromotora

El origen de la visión ocurre cuando la luz entra en el ojo y es procesada, en este sentido la luz es radiación electromagnética, de diferentes longitudes de onda, que corresponden a cada una de las longitudes del espectro visible, en combinaciones de la luz roja amarilla y azul podemos obtener la mayoría de los colores que son percibidos e integrados sensorialmente, siendo la forma y el color los aspectos representativos que nos ayudan en las actividades de la vida diaria (Afifi y Bergman, 2005).

El globo ocular cuya función es recibir luz, tiene dos tipos de receptores celulares que son los conos y los bastones, los primeros captan el espectro cromático y los segundos las escalas grises (Guyton y Hall, 2000).

Los conos se encuentran en la fovea en el centro del globo ocular en la cual se da una interpretación sináptica que viaja por la vía visual siendo integrada en el área 17, éste es un recorrido cuyo significado radica en que dichos estímulos visuales están fuertemente relacionados con la actividad manual muscular, mientras más información sensorial es obtenida del relieve esta se va agregando para ejecutar la actividad fina, así como acciones para manipular objetos, las cuales requieren mayor precisión, lo cual disminuye el esfuerzo ocular lo que tiene como consecuencia el incremento de la velocidad y la eficiencia (Guyton y Hall, 2000).

Es importante remarcar que la iluminación apropiada previene enfermedades enseguida se mostraran ejemplos de sustentados las consecuencias de una mala iluminación:

Según estadísticas médicas de un estudio de iluminación que se hizo para cotejar dos puestos de trabajo diferentes ambos arrojaron pruebas de fatiga visual, el resultado final del estudio hecho mostró que la causa principal fue la falta de iluminación (Ferniza y Guerrero, 2015).

Los periodos prolongados de exposición a iluminación inapropiada pueden causar fatiga visual y pérdida gradual de la visión, con daño proporcional al tiempo expuesto a la inadecuada condición de iluminación (Jaimez y Guerrero, 2015).

La cantidad de iluminación es directamente proporcional a la productividad, ya que la iluminación apropiada mejora la eficiencia de la ejecución de una tarea permitiendo al trabajador cumplir con sus obligaciones (Vaugahan et al., 1991).

2.3 NOM-025-STPS

La norma oficial mexicana de condiciones laborales en los centros de trabajo NOM-025-STPS se creó con el objetivo de estandarizar la emitancia para cada tarea laboral específica con el objetivo de resguardar al trabajador de enfermedades profesionales y de prevenir accidentes.

Esta norma es la más extensa que regular el flujo luminoso para cada tarea, también regula, las obligaciones del patrón y del trabajador, reconocimiento de las

condiciones laborales, la evaluación de los niveles de iluminación, las unidades de iluminación y las condiciones de prueba (Lozano, 2008). Sin embargo, esta propuesta cumple con los niveles de iluminación para los espacios laborales en la planta baja del laboratorio L3 de eléctrica electrónica.

El concepto es llamado brillo en la NOM-025, Lozano (2008) es la cantidad luminosa que una superficie proyecta en una dirección dada, por unidad de área. Es recomendable que la relación de brillos en áreas industriales no sea mayor a 3:1 en el puesto de trabajo y en cualquier parte del campo visual no mayor a 10:1. También llamada luminancia o densidad luminosa, en la parte de conceptos básicos de iluminación se explica ampliamente (Ramírez, 1986). Sin embargo, en el estudio luminotécnico es importante mencionar que el color de las paredes, del techo y del suelo interfiere en el flujo luminoso recibido en la atmósfera de una habitación. Así mismo se comprende que entre más claro sea el color de la superficie el espacio estará mejor iluminado con un flujo luminoso más eficiente. Además, cabe mencionar que el ojo humano es capaz de adaptarse a diferentes niveles de iluminación solo que necesita un tiempo para adaptarse a cada variación de nivel, este tiempo depende la brusquedad e importancia del cambio. En seguida se muestra la tabla 1 que presenta los niveles de iluminación necesarios para cada tarea laboral en cada área de trabajo (NOM-025-STPS, 2017).

Tabla 1. Niveles de iluminación

Tarea visual de puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminado, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales, almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores	Áreas de circulación de pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataforma; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco máquina.	Servicios al personal, almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y parlería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajo de oficina.	Talleres, área de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión, salas de cómputo, áreas de dibujo y laboratorios.	500
Distinción fina de detalle: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión, de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: proceso e inspección de piezas pequeñas complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1000

Tarea visual de puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación
Alto grado de especialización en distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales. De bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongado. Exactas y muy prolongadas muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño.	2000

Contiene los niveles de iluminación para cada tarea a realizar en un espacio de trabajo (NOM-025-STPS, 2017).

En estudio del trabajo cuya ergonomía ambiental respeta la iluminación se debe mantener un nivel de iluminación para cada espacio de trabajo. Por ejemplo, un laboratorio requiere más flujo luminoso que una bodega. Evidentemente el objetivo de una iluminación adecuada es proteger la vista del operario evitando sobre todo enfermedades profesionales (NOM-025-STPS, 2017).

2.3 Luz LED

La luz emitida por diodos es el último recurso de luz en tecnología de iluminación que ha florecido desde hace pocas décadas. Alta eficiencia, rentabilidad, robusta construcción, bajo poder de consumo y durabilidad son factores clave para el rápido desarrollo concreto de iluminación basado en el alto brillo visible de los LEDs.

Lámparas convencionales de iluminación como, filamentos de bulbos de luz y lámparas fluorescentes, lámparas incandescentes o lámparas de descarga de gases están acompañadas por mucha energía perdida, las cuales están atribuida a altas temperaturas y grandes cambios en almacenamiento. Por otro lado, los semiconductores permiten una eficiente manera de generación de luz. Los LEDs

hechos de materiales semiconductores tienen el potencial de convertir electricidad en luz cerca de la unidad de eficiencia (Yam y Hassan, 2005).

La luz LED se encuentra en varios colores por ejemplo verde, azul y rojo, dependiendo de cada color será la temperatura que va emitir el diodo. concerniente a la iluminación blanca hasta la fecha no existen LEDs capaces de crear luz blanca directamente, así que se debe de hacer una combinación de colores o bien también hay un segundo método que es un LED de luz azul recubrir lo con fon fosforo amarillo de este modo se obtiene luz blanca (Yam y Hassan, 2005).

2.3.1 Funcionamiento interno LED

Como se muestra en la figura 5, funcionamiento interno LED, los diodos consisten en un porta electrón en la capa N y un porta huecos en la capa P, cuando una corriente de voltaje es aplicada en la estructura (negativa hacia la capa N y positiva hacia la capa P), La inyección de electrones desde la capa N radioactivamente se recombina con los huecos emitiendo fotones (luz) y el color de los fotones es determinado por la diferencia en los niveles de energía de los electrones (Greenland, 2010).

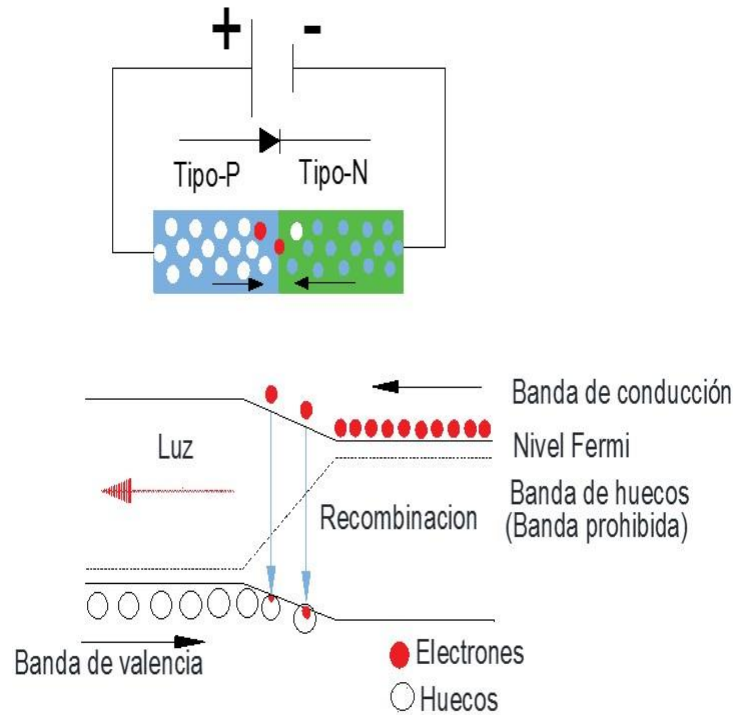


Figura 5. Tecnología LED

Este diagrama muestra la tecnología LED, un diodo cuyo ánodo es un semiconductor tipo-P y cátodo es uno tipo-N al transmitir un flujo de electrones pasando el nivel de fermi hay una recombinación de los electrones del semiconductor tipo-N y los huecos del tipo-P así se crea la luz.

Elaboración propia en software AutoCAD con base en (Khanh et al. 2015).

Los LEDs fueron fabricados por materiales semiconductores. La base LED, que esta mostrada en la figura 5, consiste en un empalme de P- N bajo condición de sesgo directo, los electrones están conectados en una región tipo P y las cavidades son inyectadas en una región tipo N. La recombinación de esta minoría de portadores lleva con la mayoría de los portadores hacia el empalme P- N dirigiendo los hacia la generación de luz. La longitud de onda y los colores de la luz están determinados por la diferencia en el nivel de energía de los electrones y las cavidades. Este simplísimo diseño de tipo LED es hasta ahora usado en la tecnología actual LED desde que hay algunos inconvenientes que pueden

bajar la eficiencia en aplicaciones de la luz e iluminación. Primero, la inyección de los electrones en una región tipo p es deseada para lograr una alta eficiencia cuántica interna, por lo tanto, una baja inyección de huecos de cavidades hacia la región N es requerida. Segundo la mínima absorción de luz generadora es alta debido a que toda la estructura posee la misma composición; Esta reduce la eficiencia de extracción de luz. Tercero, la recombinación radiactiva de dichos LEDs es mono molecular, entonces esta solo se eleva, el dopaje puede aumentar en la razón de emisión (Yam y Hassan, 2005).

2.4 Método de lumen

Según Ronald (1980) las especificaciones a menudo requieren de ingeniería luminosa para saber o diseñar un promedio de iluminación uniforme. Para hacer esto con el método de la ley de inversos cuadrados para un gran número de puntos sería muy tedioso y excesivo. Además, un segundo cálculo sería hecho para determinar la refracción de componentes. El método de lumen fue desarrollado para simplificar los cálculos y determinar una uniforme iluminación promedio.

El CU (Coefficient of utilization, Coeficiente de Utilización) es calculado por la zona de cavidad y es medido por la capacidad de distribución de luz en una recámara de una luminaria específica. También el CU se toma de la eficiencia de una luminaria, intensidad distribuida en una luminaria, la medida de la recámara y la forma, altura de montaje y superficie reflejada. Además, los coeficientes de utilización para una luminaria particular son encontrados en tablas incluidas como parte de la prueba luminario de cada luminaria (Ronald, 1980).

La primera ecuación que calcular en el método de lumen es la ecuación 6 misma, razón de cavidad en una recámara, cuya relación es el producto del coeficiente de suciedad, la altura del espacio, el perímetro del muro sobre el área de trabajo. Esta ecuación Calcula la cantidad de luz que puede recibir una habitación (Ronald, 1980).

$$\text{Razón de cavidad del cuarto} = \frac{2.5 \text{ altura de cavidad del techo (perímetro del muro)}}{\text{Área de trabajo}}$$

Ecuación 6. Razón de cavidad del cuarto

En el caso general la ecuación 7 simplificada con variables y mostrada arriba calcula RCR (Rate Cavity Ratio, Razón de Cavidad de Radio).

$$RCR = \frac{5 h_{rc}(w + L)}{(W)(L)}$$

Ecuación 7. RCR

La ecuación 8 calcula el número de luminarias es la relación del producto de flujo luminoso requerido y área de trabajo sobre el producto de número de luminarias, lúmenes por luminaria, coeficiente de utilización, depreciación de la lámpara y suciedad de la lámpara (Ronald,1980).

$$\text{No. de luminarias} = \frac{E \cdot A}{\text{No. de lamparas} \cdot \text{Lumenes por lampara} \cdot CU \cdot LLD \cdot LDD}$$

Ecuación 8. Número de luminarias fluorescentes

Los parámetros usados para determinar el CU en una habitación son la cantidad CR (Cavity Rate, Razón de Cavidad) es definida en términos generales como cantidad

de luz en una habitación y los porcentajes de reflexión dados por los colores del techo, de las paredes y del suelo.

Actualmente el coeficiente de depreciación, LLD (Depreciación de Lúmenes Lámpara, Lamp Lumen Depreciation, LLD (Luminaire Depreciation Dirt, Coeficiente de suciedad) son variables que se sustituyen por el F.M.(Factor de Mantenimiento).

La variable E es la cantidad de lúmenes requeridos en el espacio laboral y la variable A es el área que se requiere iluminar.

La ecuación 9 calcula el flujo luminoso para un área de trabajo, esta ecuación es el cociente del producto del flujo luminoso requerido en el espacio de trabajo y el área del espacio de trabajo sobre el producto del factor de mantenimiento y el coeficiente de utilización (Ronald 1980).

$$\phi = \frac{E * S}{U * M}$$

Ecuación 9. Flujo luminoso requerido

La variable ϕ significa flujo luminoso E es la cantidad de lúmenes requeridos, S es la superficie, U es el coeficiente de utilización y M el factor de mantenimiento.

La ecuación 10 mostrada a continuación, calcula el número de luminarias es la relación entre flujo luminoso requerido en el espacio de trabajo, calculado con la ecuación 9, sobre el flujo luminoso proporcionado por la luminaria propuesta.

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_L}$$

Ecuación 10. Número de luminarias

La ecuación 11, calcula el número de luminarias, se divide en tres términos, el primero es la ecuación 10, el segundo es la sustitución del flujo luminoso que se muestra en la ecuación 9, reemplazando el de la ecuación 10, puse un uno en el denominador para reducirla a un solo cociente. Así obtuve la ecuación 11, la cual calcula el número de luminarias que cubren el RCR la razón de cabida del espacio en una sola ecuación

Sabiendo que:

$$S = A$$

$$U = CU$$

$$M = fm$$

$\Phi_L = \text{Lumenes de por lámpara}$

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_L} = \frac{\frac{E * S}{U * M}}{\frac{\Phi_L}{1}} = \frac{E * S}{U * M * \Phi_L}$$

Ecuación 11. Número exacto de luminarias

Las ecuaciones 12 y 13 calculan el emplazamiento de luminarias, es decir, el número de luminarias a colocar a lo ancho y a lo largo respectivamente que se van a instalar en el espacio de trabajo Ronald (1980).

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_t}{\text{Largo}}} (\text{Ancho})$$

Ecuación 12. Número de luminarias ancho

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{Ancho}} \left(\frac{\text{largo}}{\text{Ancho}} \right)$$

Ecuación 13. Número de luminarias largo

Reflectancia ρ es la habilidad de una superficie para volver radiar energía. Esta terminología aplica solo para superficies planas o perfectamente difundidas la relación se muestra en la ecuación 14 ilustrada a continuación Ronald (1980).

$$\rho = \frac{\text{total light reflected}}{\text{total light incidented}} = \frac{\text{luz total reflejada}}{\text{luz totat incidente}} (100)$$

Ecuación 14. Reflectancia

2.4.1 Coeficiente de reflexión

El coeficiente de reflexión, mostrado en la tabla 2 para cada tipo de superficie, está representado por porcentaje influye en el estudio luminotécnico, ya que éste depende del color de las paredes, del techo y del suelo además del tipo de material de estas superficies. La relación de porcentaje de reflexión que incluye tonalidad de colores está considerada en las ecuaciones del método de lumen. En resumen, entre más lisa sea una superficie y más claro sea el color, entonces el flujo luminoso será más eficiente (García, 2001).

Tabla 2. Factor de reflexión

Superficie	Color	Factor de reflexión ρ
Techo	Blanco muy claro	0.7
	Claro	0.5
	Medio	0.3
Paredes	Claro	0.5
	Medio	0.3
	Obscuro	0.1
Suelo	Claro	0.3
	Obscuro	0.1

Contiene los valores del coeficiente de reflexión es decir indica cual es la luminancia que genera un flujo luminoso (Salazar, 2016).

2.4.2 Coeficiente de utilización

Los datos de la tabla 3 son obtenidos de la curva fotométrica de la luminaria de la tecnología LED. dicha tabla fue desarrollada de manera experimental (Ramírez y Pérez, 2013).

Tabla 3. Coeficiente de utilización

RCR Pared	Coeficiente de utilización		
	50	30	10
0	1	1	1
1	0.88	0.85	0.82
2	0.77	0.72	0.67
3	0.67	0.61	0.56
4	0.6	0.52	0.47
5	0.53	0.46	0.4
6	0.48	0.4	0.35
7	0.43	0.36	0.31
8	0.39	0.32	0.27
9	0.36	0.29	0.24
10	0.33	0.26	0.22

Muestra los Coeficientes de utilización para lámpara LED (Ramírez y Pérez, 2013).

El coeficiente de utilización indica la relación entre el factor de reflexión visto en la tabla 2 y la curva fotométrica de cada lámpara específicamente para techo 70, piso 20 y pared 50, 30 y 10. También muestra la medida de la razón de cavidad de radio

ilustrada en la ecuación 1. Se puede resumir en que entre mayor sea el porcentaje de reflexión también será mayor el coeficiente de utilización y por lo tanto más eficiente el RCR (Ramírez y Pérez, 2013).

2.4.3 Factor de mantenimiento

Es importante considerar en ingeniería el mantenimiento, en el método de lumen factor de mantenimiento hace referencia a la eficiencia con la que el flujo lumínico llega a las superficies. Por ende, sus causas son la limpieza de las lámparas como la limpieza del lugar, además de la frecuencia con la que se cambia la lámpara propiamente. En la tabla 4 se muestra el factor de mantenimiento para las luminarias LED (Blanca y Aguilar, 1995).

Tabla 4. Factor de mantenimiento

Tipo de luminaria	Aplicación	Versión	25.000h	50.000h
D1/D2/D3	OFICINAS	-	88%	85%
D42	OFICINAS	-	88%	88%
D9	OFICINAS	-	87%	86%
E1	INDUSTRIA	-	83%	81%
E Renovación	INDUSTRIA	-	-	86%
E2	INDUSTRIA	-	83%	81%
E4	INDUSTRIA	E4.0./	84%	83%
		E4.1./	83%	80%
E5M	INDUSTRIA	-	78%	69%
E6	INDUSTRIA	-	78%	72%
E7	INDUSTRIA	E7.1./1 Linea LED	83%	81%
		E7.2./2 Linea LED	82%	79%
E8	INDUSTRIA	-	81%	78%
FIARE	OFICINAS	-	87%	85%
R2	OFICINAS	-	88%	88%

Tipo de luminaria	Aplicación	Versión	25.000h	50.000h
R7	OFICINAS	Sin uplight	88%	88%
		Con uplight	88%	86%
		Mini	87%	84%
R8	OFICINAS	-	85%	82%
U2	OFICINAS	U23	-	80%
		U25	88%	88%
U3	OFICINAS	-	88%	88%

Muestra el factor de mantenimiento para cada tipo y uso de luminaria LED expresado en porcentaje (ETAP, 2010).

2.5 Costo Consumo eléctrico CFE

Para obtener los datos cercanos el pago de electricidad a la empresa nacional encargada se contempló el costo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) actual empresa productiva del Estado encargada de las actividades eléctricas, como generación, producción, transmisión, regulación y distribución eléctrica, la empresa tiene propiedad exclusiva del Gobierno Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que goza de autonomía técnica, operativa y de gestión, conforme a lo dispuesto en la Ley de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2018).

En esta tesis también se considera el costo de reducción de consumo eléctrico, así que se investigó la metodología de pago a la empresa nacional CFE, suministrador de servicios básicos.

Para calcular el costo de consumo eléctrico a pagar a CFE, suministrador de servicios básicos, actualmente se deben considerar las empresas subsidiarias, que colaborando con CFE llevan la electricidad al consumidor. Esta tesis está también considera dichos gastos.

2.5.1 Esquema Tarifario CFE

La CRE, Comisión Reguladora de Energía, aplica un nuevo esquema de tarifario basando se en el artículo 139 de la ley de la Industria Eléctrica. Específicamente los ajustes y cálculos se encuentran en el acuerdo núm. A/058/2017 (CFE, 2018).

La figura 6 es un mapa mental donde se pueden ver el esquema tarifario, así como las tres categorías principales además del voltaje de cada categoría, sea baja tensión, mediana tensión y alta tensión. Dicha información fue obtenida de la página Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2018).

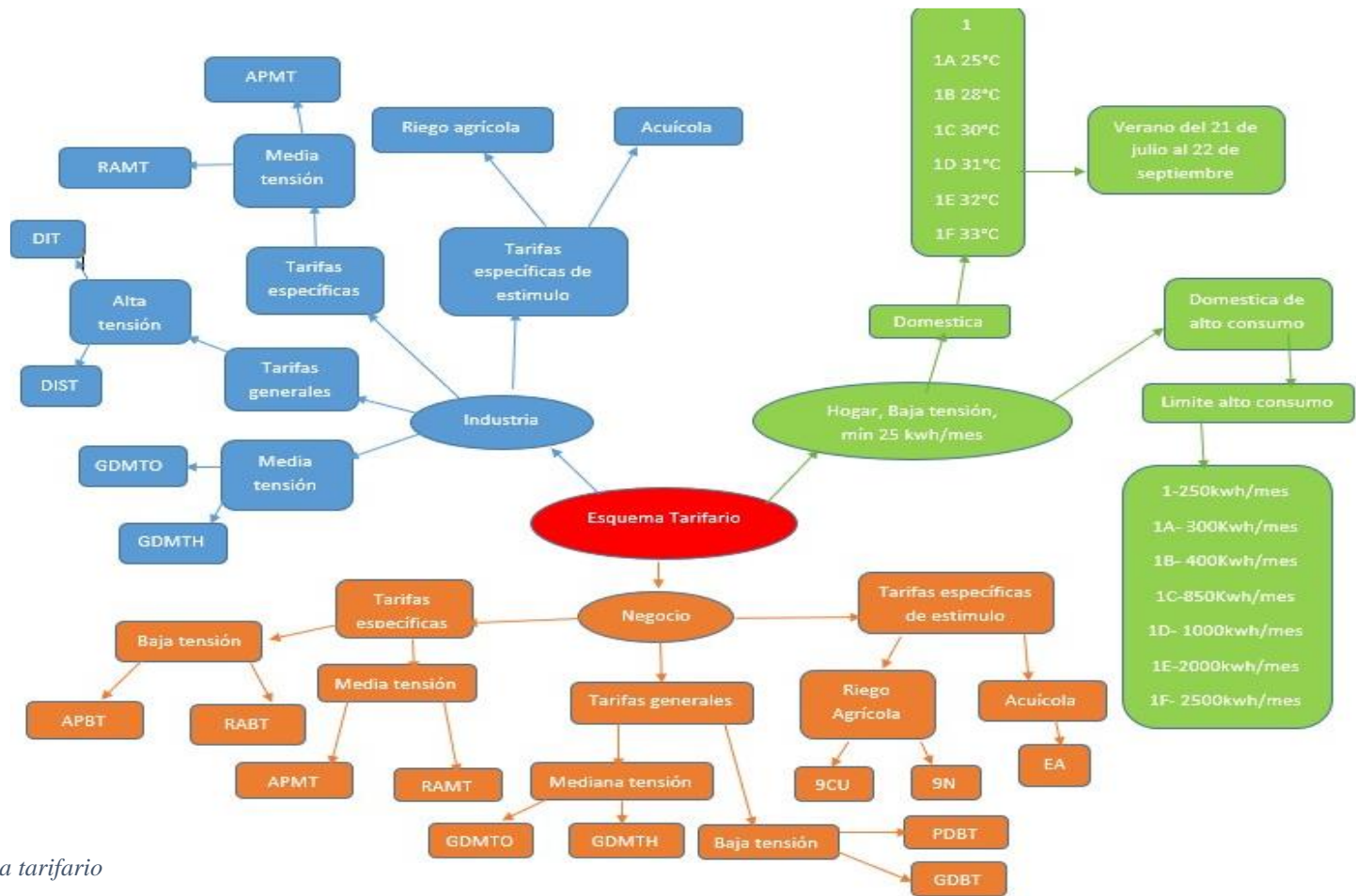


Figura 6. Esquema tarifario

Es un mapa mental que muestra el esquema tarifario de CFE en las tres actividades existentes industria, negocio y hogar.

Elaboración propia con base en (CFE, 2018)

2.5.2 Negocio

La categoría de negocio es la que esta asignada para la FES Aragón, dicha categoría contiene actividades agrícolas y acuícolas como riego y producción. Las tarifas 9CU y 9N son aplicadas para el cálculo de la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola por los responsables productivos inscritos en el registro de beneficiarios de energéticos agropecuarios, inclusive por la Cuota Energética determinada por la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). El cargo en estas tarifas se divide en cargo y cargo diurno. En 2018 El costo del cargo es de \$ 0.60 por kWh y en periodo diurno de \$ 0.30 por kWh (CFE, 2018).

La tarifa EA (Energía Acuícola) es para actividades acuícolas como la ganadería la facturación con las tarifas que se establecen en este artículo, dependen del tiempo en que sean aplicadas ya que son dinámicas y los cargos responden a la tarifa vigente , multiplicada por el factor de 0.50 hasta por la cuota energética determinada por la SAG (Secretaría de Agricultura, Ganadería),DRA (Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) de acuerdo con los “Lineamientos por los que se regula el PEECMEEUA (Programa Especial de Energía para el Campo en Materia de Energía Eléctrica para Uso Acuícola), publicados en el DOF (Diario Oficial de la Federación) el 15 de marzo de 2005 (CFE, 2018).

Por otra parte, las tarifas específicas en baja tensión son para actividades de APBT (Alumbrado Público en Baja Tensión) y para riego agrícola en baja tensión. Así como las tarifas específicas en media tensión APMT (Alumbrado Público en Media Tensión, APMT, y Riego Agrícola en Media Tensión). Estas tienen sus variables dependientes como la ubicación geográfica de cada estado re la república mexicana un cargo variable asignado por CFE y un cargo variable que depende del consumo (CFE, 2018).

Las tarifas generales también se dividen en baja y media tensión. Las de baja tensión son PDBT (Pequeña Demanda Baja Tensión) es para todos los servicios siempre y cuando no se excedan los 25kWh/mes. En esta tarifa se pueden contratar hasta 3 hilos, 125 kWh con un hilo de corriente, 350 kWh con dos hilos de corriente y 400 kWh con tres hilos de corriente. La tarifa GDBT (Gran Demanda Baja Tensión) corresponde al consumo mayor a 25kwh al mes (CEF, 2018).

En el caso de la tarifa en media tensión tenemos dos tipos GDMTO (Gran Demanda Media Tensión Ordinaria) que se aplica para todos los servicios media tensión, teniendo una demanda menor a 100kWh/mes y GDMTH (Gran Demanda Media Tensión Horaria) con una demanda mayor a 100kWh/mes que depende de los horarios de uso sea; base, intermedio o punta (CFE, 2018).

Dado que el contrato de la Facultad de Estudios Superiores Aragón es Negocio GDTMH, se usará esta categoría para hacer el estudio de costo eléctrico.

Los cálculos en esta tesis se basan en el acuerdo GDMTH ya que es la tarifa establecida en la Facultad de Estudios Superiores Aragón. Además, la Facultad se encuentra en la zona valle norte de México. Así que en la tabla siguiente se muestran las tarifas.

2.5.3 Cuotas para Valle Norte de México

A continuación, se muestra la tabla 5 que contiene las cuotas GDMTH, utilizada para calcular el costo del consumo eléctrico por iluminación tanto el actual con luminarias fluorescentes como el de la propuesta con iluminación LED.

Tabla 5. Cuotas GDMTH para Valle de México en febrero 2018

Tarifa	Descripción	Int. Horario	Cargo	unidades	01/02/2018
GDMTH			Fijo	\$/mes	641.78
		Base	Variable (Energía)	\$/kWh	0.6265
	Gran Demanda	Intermedia	Variable (Energía)	\$/kWh	0.9823
	En Media Tensión	Punta	Variable (Energía)	\$/kWh	1.1357
			Distribución	\$/kW	84.34
			Capacidad	\$/kW	200.63

Muestra las cuotas de la tarifa Gran Demanda en Media Tensión para febrero 2018 en el valle Norte de México (CFE, 2018).

Estas son las tarifas que se usan para calcular el costo del consumo eléctrico como se muestra en la tabla 5 además del cargo fijo el costo variable que depende del horario sea base, intermedio y punta en el valle norte de

México en la tarifa GDMTH. Los cargos distribución y capacidad no entran en el tema de esta tesis. Estos valores son obtenidos del acuerdo CRE A-058-2017 Metodología de Cálculo TFSB, Tarifas Finales de Suministro Básico.

2.5.4 Periodo Punta, intermedio y Base

Para tener un conocimiento del consumo en iluminación en los periodos punta, intermedio y base se necesita conocer los horarios establecidos por CEF, así que a continuación se muestran las tablas con dichos horarios, que servirán para conocer el costo del consumo eléctrico.

En estas tablas 6 y 7 aparecen los horarios de la región Norte en la categoría, Regiones Central, Noreste, Noroeste, Norte, Peninsular y Sur, que es donde se ubica la Facultad de Estudios Superiores Aragón. Con estos datos se va a determinar el costo del consumo eléctrico, en la tabla 6 aparecen las tarifas base, intermedio, punta para el horario de verano que es del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre y en la tabla 7 las tarifas para el horario de verano que son del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril (CFE,2019).

Tabla 6. Tarifa para horario de verano

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00-19:30 22:00-24:00	20:00-22:00
Sábado	0:00-7:00	7:00- 24:00	
Domingo y festivo	00:00-19:00	19:00-24:00	

Muestra el horario verano que determina la carga base, intermedia y punta (CFE, 2018).

Tabla 7. Tarifa para horario de invierno

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00-18:00 22:00-24:00	18:00-22:00
Sábado	0:00-8:00	8:00-19:00 21:00-24:00	19:00-21:00
Domingo y festivo	0:00-18:00	18:00-24:00	

Muestra el horario invierno que determina la carga base, intermedia y punta (CFE, 2018).

Debido a la reforma energética el costo del kilowatt hora ha crecido constantemente mes tras mes, para ejemplificar gráficamente ese crecimiento se muestra la figura 7, incremento del kWh en la tarifa GDMTH, aparece el comportamiento del kWh para los horarios base, intermedio y punta desde el mes de enero 2018 hasta la fecha agosto 2018 específicamente desde que entró en vigor la reforma energética los datos fueron extraídos de la página Oficial de Comisión Federal de Electricidad.

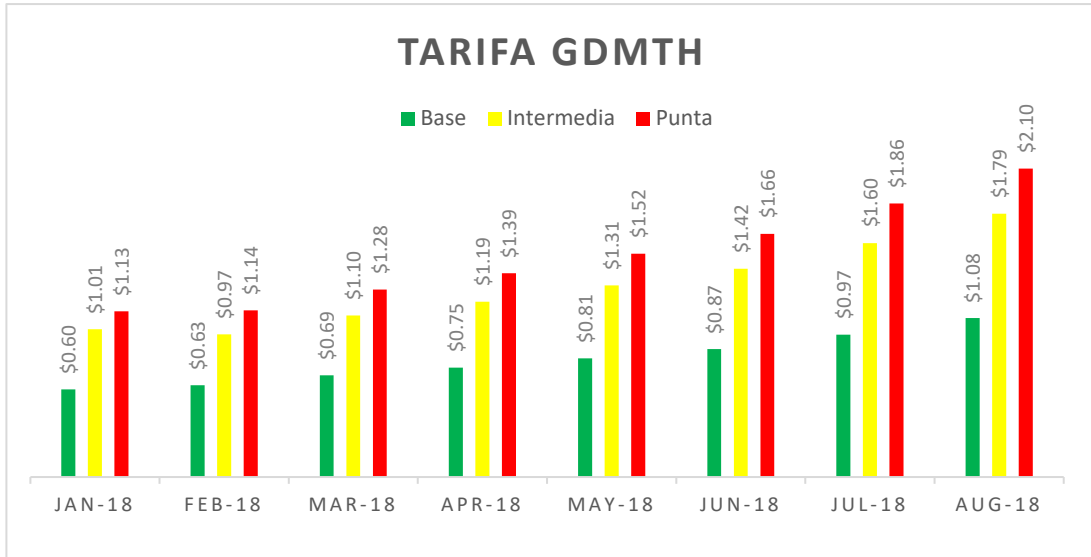


Figura 7. Incremento del kW en la tarifa GDMTH

Muestra como creció el kilowatt hora desde la entrada de la reforma energética hasta agosto 2018.

Elaboración propia con base en (CFE, 2018).

Además del consumo eléctrico en los horarios base, intermedio y punta que genera costos por kilowatt hora, también hay otros costos que se pagan para hacer llegar la electricidad a los consumidores finales.

En la figura 8 se muestran los costos fijos, distribución y capacidad cuyo comportamiento muestra que en capacidad desde enero 2018 hasta agosto ha incrementado su costo desde la entrada de la reforma energética también se muestra como el costo fijo y el costo de distribución permanecen constantes.

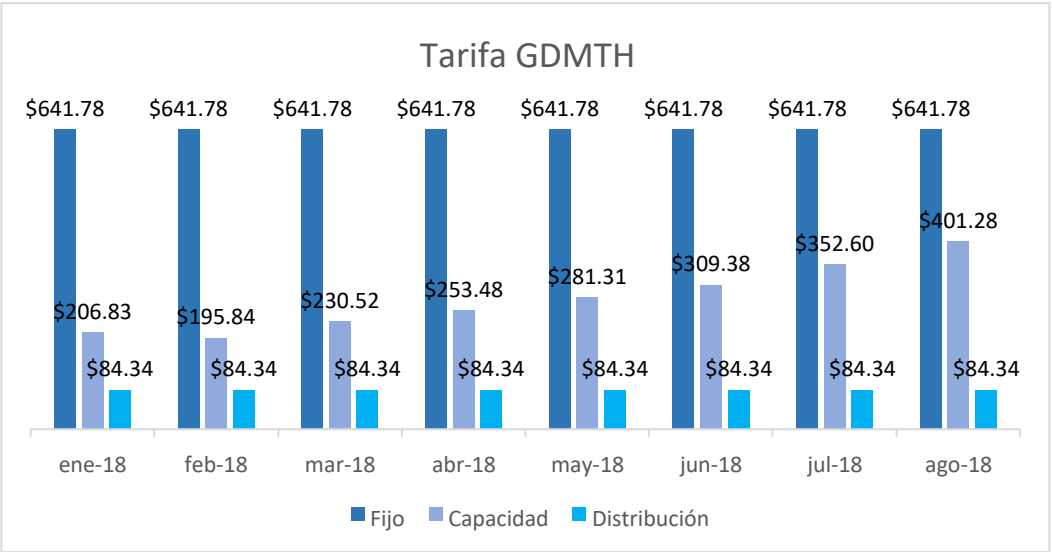


Figura 8. Costo fijo, capacidad y distribución en la tarifa GDMTH

Muestra el comportamiento del costo fijo, capacidad y distribución desde la entrada de la reforma energética hasta agosto 2018.

Elaboración propia con base en (CFE,2018)

2.5.5 Conceptos de pago CFE

2.5.5.1 Demanda

Para contratar servicio de CFE es necesario conocer la demanda, además para calcular la capacidad y la distribución, ya que son costos variables que vienen cargados en el recibo de pago. A continuación, se muestra la ecuación 15 que sirve para calcular la demanda.

$$Demanda = \frac{Demanda\ mensual}{24 * \#d * f.c.}$$

Ecuación 15. Demanda de energía eléctrica mensual

Esta ecuación 15 calcula la demanda que se va a contratar, es una relación entre la demanda mensual las 24 horas del día, el número de días del mes, #d, y el factor de carga, que se encuentra en el apartado 3.5.2 del Anexo B del Acuerdo número A/058/2017.

2.5.5.2 Costo fijo

El costo fijo es invariable y se paga bimestralmente dependiendo de la tarifa contratada, es específico para cada contrato en la tarifa GDMTH es de \$ 641.78 considerando que se cobra un mínimo de 100kWh a pesar de que no se usaran (CFE, 2018).

2.5.5.3 CENACE

El CENACE (Centro Nacional de Control de Energía), es una institución que fue independizada en el año 2014 debido a que la reforma energética implementó su autonomía de CFE. En general la responsabilidad del CENACE es regular que las plantas eléctricas para que administren la energía en condiciones competitivas, y proponer a la SENER (Secretaría de Energía) la planificación y expansión de las redes de transmisión y distribución, controlando sus operaciones. Además de garantizar la imparcialidad de la distribución eléctrica a bajo costo, siendo receptora de las ofertas de energía y encargada de los precios de transacción, así como del pago y la factura de la electricidad y productos asociados, también está encargada de los recursos de demanda controlable y de las instalaciones distribuidoras y transmisoras (CRE, 2018).

2.5.5.4 SCnMEM

El MEM se compone por el mercado de energía de corto plazo, el mercado para el balance de potencia, el mercado de certificados de energías limpias, subastas de derechos financieros de transmisión, y subastas de mediano y largo plazo (CRE, 2018).

2.5.5.5 Capacidad

Costo que se asigna a cada categoría con base al tipo de medición ya sea simple o con demanda. Es asignado al consumo de energía (kWh) para aquellas categorías que cuenten con medición simple. Además, se asigna a la demanda máxima (kW) de las categorías que cuentan con medidores que permitan conocer su demanda en el periodo de facturación (CRE, 2018)

2.5.5.6 Distribución

Distribución es el cargo que tiene por objetivo realizar las actividades de financiamiento, mantenimiento, instalación, gestión, operación, siendo así responsable de la infraestructura necesaria para prestar servicio público de distribución de energía eléctrica a nivel nacional (Vidal, 2018).

2.5.5.7 Transmisión

Es el cargo por la conducción de energía eléctrica desde las plantas de generación hasta los puntos de entrega para su distribución (Valentini, 2018).

Además de encargarse del servicio de la transmisión pública de energía eléctrica tiene por objetivo el financiamiento, mantenimiento, instalación, gestión y operación de la infraestructura (CFE, 2018).

Capítulo III. Selección de luminaria

3.1 Propuestas de luminarias LED

En seguida se tiene dos propuestas de luminarias LED para el laboratorio. Las dos fueron seleccionadas tomando en cuenta tres variables la primera el costo la segunda el consumo eléctrico y la última el flujo lumínico. Las especificaciones de las dos opciones se muestran a continuación.

3.1.1 Primera opción

Para seleccionar esta propuesta se hizo un estudio de luminarias en internet, en mercado libre, se buscaron luminarias LED de bajo consumo eléctrico y alto flujo luminoso pertinentes para laboratorio, debido a su bajo costo, bajo consumo eléctrico y flujo lumínico de 2,400lm se consideró la luminaria Montana como buena propuesta para instalar en el laboratorio, inclusive se compró una muestra financiada por la FES Aragón. Misma luminaria que sirvió para medir su consumo eléctrico real. En la siguiente tabla 8 se muestran las especificaciones de la luminaria Montana.

Tabla 8. Lámpara Montana

Nombre	Lámpara lineal de doble línea LED luz blanca
Marca	Montana
Consumo	24W
Voltaje	85V – 267V
Flujo luminoso	2,400lm
Temperatura	6,500 K
Medidas	1.20 m, 2.5cm, 3.5cm
Costo	\$130
Horas de vida	50,000

Contiene las especificaciones de la primera propuesta de lámpara LED (Montana, 2018)

3.1.2 Segunda opción

La luminaria MAGG se seleccionó siendo propuesta por uno de los proveedores de la FES Aragón, Así mismo se prosiguió investigar la luminaria descubriendo la eficiencia de la luminaria MAGG debido a su emisión de flujo luminoso de 3,660 lm utilizando solo 30W evidentemente a un costo más elevado, pero para estar seguros de la viabilidad de la luminaria se tuvo que hacer un estudio de consumo eléctrico para poder evaluar la objetivamente. A continuación, en la tabla 9 se muestran las especificaciones de luminaria MAGG.

Tabla 9. Lámpara MAGG

Nombre	Gamma LED 1200 S Texturizado
Marca	MAGG
Consumo	30W
Voltaje	100V- 305V
Flujo luminoso	3,660lm
Temperatura	6,000K
Medidas	1,214 m, 1.04cm, 0.97 cm
Costo	\$862.83
Horas de vida	50,000

Contiene las especificaciones de la segunda propuesta de lámpara LED (MAGG, 2018).

3.2 Evaluación de luminaria

3.2.1 Eficiencia de luminarias

Uno de los parámetros considerados para seleccionar la mejor luminaria es la eficiencia de la lámpara a continuación se muestra la tabla 10 que contiene la eficiencia de ambas propuestas LED calculadas con la ecuación 5 que muestra que la luminaria MAGG es más eficiente que la Montana.

Tabla 10. Eficiencia de luminarias propuestas

Luminaria	Eficiencia lm/W
MAGG	100
Montana	120

Contiene la eficiencia de las dos luminarias propuestas.

3.2.2 Costo de inversión

Como se verá posteriormente en el estudio de iluminación, por el método de lumen se requieren 76 luminarias MAGG o 138 luminarias Montana, para cumplir con los estándares de la NOM-025-STPS. Así que el costo de inversión para este proyecto sería el producto del valor unitario de cada luminaria por el número de luminarias que se requieren, la estimación como se muestra en la tabla 11 se hizo únicamente por las luminarias sin tomar en cuenta la disminución del precio por compra de mayoreo ni los costos de transporte e instalación.

Tabla 11. Costo de inversión de luminarias propuestas

Luminaria	Costo de inversión \$
Montana	17,940
MAGG	65,575

Muestra el costo de inversión para las dos propuestas.

3.2.3 Consumo eléctrico

Se compró la lámpara Montana financiada por la Facultad de Estudios Superiores Aragón y se instaló en un almacén del laboratorio de eléctrica electrónica, aprovechando la lámpara se tomaron medidas de la corriente con un multímetro de gancho como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Corriente eléctrica de lámpara Montana.

Muestra la corriente que pasa por la lámpara Montana, medida en el almacén por un multímetro de gancho

Elaboración propia tomada en el almacén.

Se aplica la ecuación de potencia para obtener el consumo de la lámpara Montana además se toma en cuenta el factor de potencia que es 0.9 para las luminarias LED. Dado que se están evaluando dos lámparas también se considera a la luminaria MAGG cuyo consumo es de 29W tomando en cuenta el factor de

potencia, dicho dato es extraído de las especificaciones de la luminaria, también en la tabla 12 se muestra el número de luminarias requeridas para entrar en la NOM-025-STPS, la vida útil de las luminarias y el consumo por lámparas requeridas en su tiempo de vida de ambas propuestas.

Tabla 12. Evaluación entre luminaria Montana y luminaria MAGG

Concepto	Luminaria MAGG	Luminaria Montana
Consumo/ W	29W	34.4W
Numero de luminarias	76	138
Vida útil de luminarias/h	50,000	50,000
Consumo por total de luminarias en vida útil/Wh	110,200Wh	236,601Wh

En esta tabla se muestra el consumo eléctrico por ambas luminarias, el número de luminarias que se necesitan para cada cumplir con la NOM-025-STPS, la vida útil ideal de las luminarias LED y el consumo eléctrico total durante toda la vida útil de todas las luminarias.

Elaboración propia con base en (MAGG, 2018). (Montana, 2018).

Con los datos obtenidos de la tabla 12 y una relación del consumo por total de luminarias en vida útil/Wh se calculó que a las 23,288 horas las lámparas Montana habrán consumido todos los kWh que las luminarias MAGG consumirán en toda su vida útil, quedando 28,318 kWh más de consumo eléctrico que representa en gasto monetario más del 50%.

Para saber el retorno de inversión de cada luminaria se hace un estudio del consumo eléctrico a pagar a FCE, Suministradora de Servicios Básicos, estudio que se verá más adelante en el capítulo V.

Capítulo IV. Estudio luminotécnico

4.1 Iluminación actual de la planta baja del L3 NOM-025-STPS.

En la tabla 13 vemos el flujo máximo y el flujo mínimo, Así como el flujo promedio.

El flujo mínimo se midió de noche con las cortinas cerradas y para él máximo se abrieron las cortinas y se midió de día. También, en la última columna NOM-025-STPS están los luxes requeridos por la norma las medidas que están en verde son las que sí cumplen con la norma y las que están en rojo son las que no cumplen.

Tabla 13. Medidas de luxes por espacio laboral

Espacio laboral	Medición min Lux	Medición max Lux	Promedio Lux	NOM-025 STPS/ Lux
servicio social	230	550	390	300
Pasillo planta baja	218	330	274	100
Jefatura	680	765	722.5	500
Electricidad y magnetismo	680	76	380	500
Puerta Técnica	326	372	349	200
Almacén II	272	375	323.5	200
Almacén I	137	427	282	200
Análisis de circuitos	344	458	401	500
Pasillo	269	278	273.5	100
Almacén III	376	94	233	200
L30024	295	320	307.5	300
L30023	201	257	229	300
L30022	326	336	331	300
IMED	536	435	485	300
Máquinas Eléctricas	334	441	387.5	300

Esta tabla indica la iluminación actual de cada espacio laboral, medición mínima de luxes, medición máxima, medición promedio y NOM-025-STPS. Elaboración propia datos extraídos de Laboratorio L3 (2018).

Así que podemos ver que cuatro espacios laborales no cumplen con la NOM-025-STPS. Servicio Social, Electricidad y Magnetismo que está más debajo de la norma, Análisis de circuitos y L30023.

4.2 Distribución de luminarias actualmente

Para saber cuánto mejorará la iluminación y cuanto se reducirá el consumo es fundamental saber los datos actuales, así que en la tabla 14 se muestra le número de luminarias que hay actualmente en cada salón de la planta baja del laboratorio.

Tabla 14. Distribución de luminarias

Salón	No. Luminarias
Electricidad y magnetismo	12
Jefatura de laboratorios	2
Servicio social	2
Almacén I	2
Almacén de electricidad	2
Puerta técnica	1
Análisis de circuitos eléctricos	9
Almacén II	2
I medición	4
Maquinas eléctricas	8
Laboratorio L30022	4
Salón de clases L30023	4
Salón de clases L30024	4
Pasillo 1	6
Pasillo 2	2
Pasillo 3	6
Entrada	3
Total de luminarias	73

Esta tabla indica la cantidad de luminarias que hay actualmente por salón.

Elaboración propia datos extraídos de Laboratorio L3 (2018).

4.3 Consumo eléctrico actual

4.3.1 Luminarias Fluorescentes OSRAM con balastro teórico

En la tabla 15 se muestran las especificaciones del balastro, es importante considerar que para saber el consumo real de las luminarias fluorescentes se debe considerar el consumo por balastro.

Tabla 15. Especificaciones de balastros

Tipo de lámpara	Voltaje		Min. comienzo temp.
	120V	277V	
	Corriente de línea		
3xF32T8	0.75 A	0.32 A	-20° F/ -29°C
3xF25T8	0.61 A	0.26 A	-20° F/ -29°C
3xF17T8	0.40 A	0.18 A	-20° F/ -29°C
2xF40T8	0.67 A	0.29 A	0° F/ -18°C
2xF32T8	0.55 A	0.24 A	-20° F/ -29°C

Nota: También sugerido para "U" curvado y SS equivalentes

Esta tabla indica los amperes que consume cada balastro según su tipo, dado que en el laboratorio se manejan lámparas fluorescentes T8 de 32 watts y cada luminaria tiene 3, entonces usamos tipo de lámpara 3xF32T8.

Elaboración propia con base en balastro OSRAM.

Actualmente el laboratorio L3 cuenta con luminarias fluorescentes, 3 tubos T8

Osram F032/481/Eco Hg que consume 32W y un balastro OSRAM 3x32 por

luminaria. Para saber consumo actual primero se hizo el conteo de luminarias, son

73 luminarias, después se calculó el consumo por luminaria sumando los 3 tubos

T8 de 32W la luminaria consume 96W más el consumo del balastro OSRAM 3x32

para obtener el consumo exacto del balastro se interpoló el doble voltaje 120V y

277V con las corrientes dentro del tipo de lámpara 3xF32T8, mostrado en la tabla

10, cuyas corrientes son 0.75A y 0.32A para obtener la corriente con un voltaje de

127V dicha corriente es 0.7308A. posteriormente se multiplica el voltaje con la

corriente y obtenemos el consumo real del balastro 92.8116W que es el equivalente al consumo de la luminaria.

4.3.2 Luminarias Fluorescentes Osram con balastro real

Después de hacer el estudio teórico del consumo eléctrico de las luminarias fluorescentes OSRAM se prosiguió con el estudio experimental. Así que con un multímetro de gancho se calculó el consumo eléctrico del 10%, es decir 7 de las luminarias fluorescentes de la planta baja del laboratorio L3. Es importante saber que las lámparas están conectadas en paralelo así que los resultados obtenidos son múltiplos de la corriente de las luminarias.

En las figuras 11 y 10 respectivamente se muestran fotografías tomadas de mediciones con multímetro de gancho de luminarias fluorescentes del corredor y del laboratorio L30021, Máquinas Eléctricas.



*Figura 10. Corriente en luminaria fluorescente 1
Fotografía tomada en el Laboratorio L3.*



*Figura 11. Corriente en luminaria fluorescente 2
Fotografía tomada en el Laboratorio L3.*

En la tabla 16 se muestran las mediciones tomadas de las luminarias de la planta baja del laboratorio L3, Sabiendo que en la mayoría de las muestras pasa la corriente de más de una luminaria debido a la conexión en paralelo se tomará que la corriente eléctrica real que pasa por las luminarias es 0.7 A con una desviación estándar de $0.2808 \pm$, Entonces se prosigue con el cálculo de consumo eléctrico $0.7 \text{ A} * 127\text{V} = 88.9 \text{ W}$ consumo real de la luminaria incluyendo el balastro.

Tabla 16. Muestras de luminarias fluorescentes

Muestra de luminaria fluorescente	Corriente eléctrica A	Número de luminarias
Luminaria fluorescente 1	1.3	2
Luminaria fluorescente 2	2.6	3
Luminaria fluorescente 3	0.7	1
Luminaria fluorescente 4	2.2	3
Luminaria fluorescente 5	2.8	4
Luminaria fluorescente 6	1.6	2
Luminaria fluorescente 7	2.1	3

Esta tabla muestra mediciones de la corriente eléctrica de luminarias con multímetro de gancho en la planta baja del laboratorio L3. Muestras medidas en el laboratorio L3(2019).

Supuestamente las especificaciones de las lámparas cada una gasta 32w y son tres por luminaria entonces teóricamente tendrían que ser 96w por luminaria así que el resultado es que el factor de potencia de las lámparas fluorescentes es mucho más bajo que el de las lámparas LED para ser exactos es de 0.79 cuando el de las LED es de 0.90 esto significa que hay más pérdida de energía usando luminarias fluorescentes.

4.3.3 Mapa planta baja del laboratorio de eléctrica electrónica

La figura 12 muestra el mapa del laboratorio dibujado con el software AutoCAD para realizarla se tomaron las medidas experimentales de la planta baja del laboratorio, utilizando flexómetro y cinta métrica de 50m. con el fin de tener las dimensiones reales.

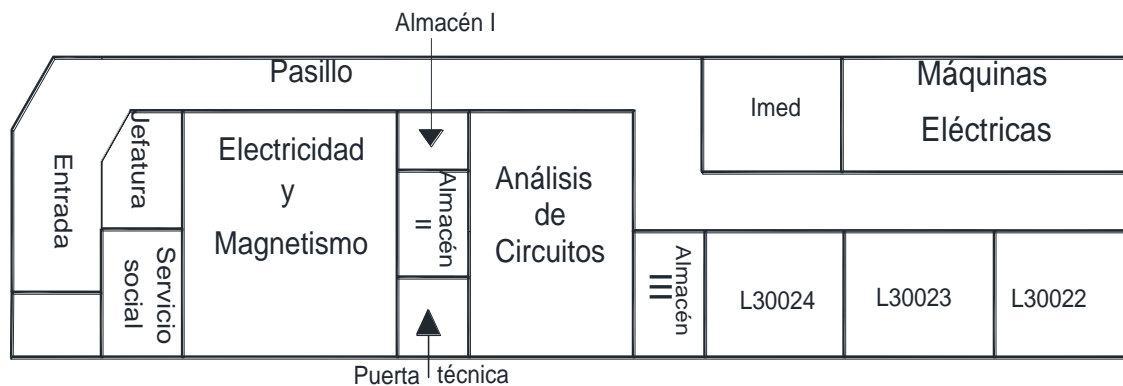


Figura 12. Planta baja L3

Esta figura es el mapa de la planta baja del laboratorio L3 donde se muestran las áreas desarrolladas en el presente trabajo.

Elaboración propia en el software AutoCAD.

4.3.4 Estudio luminotécnico método de lúmen para primera propuesta

Sabiendo que 2400lm es el flujo lumínico de la lámpara Montana, que los coeficientes de refracción son Techo 0.7, Paredes 0.5, Suelo 0.3 y 0.79 es el factor de mantenimiento de la luminaria LED de doble línea se aplica el método de lumen.

En la tabla 17 se muestra el desarrollo del método de lumen, en la primera columna aparecen las áreas que se van a iluminar en la segunda las medidas, concerniente a la altura se usa la altura laboral así que se resta la altura de las mesas de la altura total del espacio, en la tercera columna están asignadas las medidas extraídas de la NOM-025-STPS en la cuarta columna están los valores de razón de cavidad del cuarto y coeficiente de utilización.

Tabla 17. Resultados de método de lumen para primera propuesta

Salón	Medidas; Ancho Largo Altura c.t.	Luxes por nom-025	RCR CU	No. Luminarias No. Ancho No. Largo
Almacén 1	3m	200lx	10.6319 0.33	6
	2.23m			2
	2.72m			3
Pasillo planta baja	22.90m	100lx	2.1579 0.7524	6
	2m			1
	2.72m			8
Laboratorio de electricidad y magnetismo	7.75m	500lx	2.1579 0.7524	25
	9m			5
	1.82m			5
Entrada	6.86m	100lx	6.6032 0.4498	3
	2m			2
	6.05m			2
	0.91m 2.70m			
Almacén de electricidad	4.50m	200lx	5.1069 0.5246	3
	2.95m			1
	1.92m			2

Salón	Medidas; Ancho Largo Altura c.t.	Luxes por nom-025	RCR CU	No. Luminarias No. Ancho No. Largo
Puerta técnica	3m	200lx	7.3739 0.4150	2
	2.30m			1
	1.92m			2
Análisis de circuitos eléctricos	9.30m	500lx	2.2973 0.7402	23
	6.90m			4
	1.82m			6
Pasillo 2	4.50m	100lx	7.5555 0.4077	2
	3m			1
	2.72m			2
Pasillo 3	17.99m	100lx	6.9377 0.4331	5
	2.2m			1
	2.72m			6
Salón Imed	5.85m	300lx	3.9197 0.6056	6
	4.30m			2
	1.82m			3
Maquinas eléctricas maquinas síncronas y de CD.	12.15m	300lx	3.0994 0.6630	12
	4.30m			3
	1.97m			6

Salón	Medidas; Ancho Largo Altura c.t.	Luxes por nom-025	RCR CU	No. Luminarias No. Ancho No. Largo
Salón L30022	5.83m 4.73m 1.97m	300lx	3.7719 0.6159	7 3 3
Salón L30023	6.30m 4.73m 1.97m	300lx	3.6459 0.6247	7 3 3
Salón L30024	5.75m 4.73m 1.97m	300lx	3.7954 0.6143	7 3 3
Almacén II	4.73m 3m 2.72m	200lx	7.4086 0.4136	5 2 1
Jefatura del laboratorio	4.50m 3.40m 1.92m	500lx	4.9568 0.5278	7 2 3
Servicio social	4.8m 3.4m 1.92m	300lx	5.0424 0.5278	4 2 2

Contiene los resultados de evaluar utilizando el método de lumen la primera propuesta, luminarias Montana cuyo flujo lumínico es de 2 400 lúmenes para cada salón de la planta baja del laboratorio L3.

Elaboración propia usando método de lumen.

4.3.4.1 Número de luminarias LED

La tabla 18 ilustra la cantidad de luminarias Montana de doble línea LED necesarias para cada espacio del laboratorio según la NOM-025-STPS. Además, con esta tabla se puede distinguir que el número de dichas luminarias es mayor al de las fluorescentes actuales $138 > 73$.

Tabla 18. Número de luminarias LED Montana Primera propuesta

Salón	No. Luminarias
Electricidad y magnetismo	25
Jefatura de laboratorios	6
Cubículo	4
Almacén I	2
Almacén de electricidad	2
Puerta técnica	2
Análisis de circuitos eléctricos	24
Almacén II	2
I medición	6
Maquinas eléctricas	18
Laboratorio L30022	9
Salón de clases L30023	9
Salón de clases L30024	9
Pasillo 1	8
Pasillo 2	2
Pasillo 3	6
Entrada	4
Total de luminarias	138

Contiene la cantidad total de luminarias montana ilustradas en la tabla 18.

Elaboración propia basada en resultado con luminarias Montana.

4.3.5 Estudio luminotécnico método de lúmen para segunda propuesta

Sabiendo que 3660 lm es el flujo lumínico de la lámpara, Gamma LED 1200 S Texturizado, que los coeficientes de refracción son Techo 0.7, Paredes 0.5, Suelo 0.3 y 0.86 es el factor de mantenimiento de la luminaria LED D42.

A continuación, se muestra la tabla 19 que contiene los resultados del método de lúmen utilizando luminarias MAGG respetando la luminancia requerida por la NOM-025-STPS.

Tabla 19. Resultados Método de Lumen para segunda propuesta

Salón	Medidas; Ancho Largo Altura c.t	Luxes por nom-025	RCR CU	No. Luminarias No. Ancho No. Largo
Almacén 1	3m	200lx	11.09	1
	2.23m			1
	2.72m			1
Pasillo planta baja	22.90m	100lx	7.3938	4
	2m			1
	2.72m			6
Laboratorio de electricidad y magnetismo	7.75m	500lx	2.1853	15
	9m			4
	1.82m			4
Entrada	6.86m	100lx	6.6032	2
	2m			1
	6.05m			2
	0.91m			
	2.70m			
Almacén de electricidad	4.50m	200lx	5.3875	2
	2.95m			1
	1.92m			2

Salón	Medidas; Ancho Largo Altura c.t	Luxes por nom-025	RCR CU	No. Luminarias No. Ancho No. Largo
Puerta técnica	3m	200lx	7.3739	1
	2.30m		0.4150	1
	1.92m			1
Análisis de circuitos eléctricos	9.30m	500lx		14
	6.90m		2.2973	3
	1.82m		0.7402	4
Pasillo 2	4.50m	100lx		1
	3m		7.5555	1
	2.72m		0.4077	1
Pasillo 3	17.99m	100lx		3
	2.2m		6.9377	1
	2.72m		0.4331	5
Salón Imed	5.85m	300lx		4
	4.30m		3.6718	2
	1.82m		0.6229	2
Maquinas eléctricas maquinas síncronas y de CD.	12.15m	300lx		8
	4.30m		3.0994	2
	1.97m		0.6630	5
Salón L30022	5.83m	300lx		4
	4.73m		3.7719	2
	1.97m		0.6159	2
Salón L30023	6.30m	300lx		5
	4.73m		3.6459	2
	1.97m		0.6247	2
Salón L30024	5.75m	300lx		4
	4.73m		3.7954	2
	1.97m		0.6143	2

Salón	Medidas; Ancho Largo Altura c.t	Luxes por nom-025	RCR CU	No. Luminarias No. Ancho No. Largo
Almacén II	4.73m	200lx	7.4086	2
	3m		0.4136	1
	2.72m			2
Jefatura del laboratorio	4.50m	500lx		5
	3.40m		4.9568	2
	1.92m		0.5278	2
Servicio social	4.8m	300lx		3
	3.4m		5.0424	1
	1.92m		0.5278	2

Contiene los resultados de evaluar con el método de lumen la segunda propuesta, luminarias MAGG cuyo flujo lumínico es de 3 600 lúmenes para cada área de la planta baja del laboratorio L3.

Elaboración propia usando método del lumen.

4.3.5.1 Número de luminarias LED

En la tabla 20 se puede ver claramente el número de luminarias LED MAGG necesarias para cumplir la NOM-025-STPS. A diferencia de la primera propuesta no se necesitan tantas luminarias sólo se necesitarían 76 es decir 3 más que las actuales fluorescentes y 62 luminarias menos que las luminarias LED Montana.

Tabla 20. Número de luminarias LED MAGG para segunda propuesta.

Salón	No. Luminarias
Electricidad y magnetismo	12
Jefatura de laboratorios	4
Cubículo	2
Almacén I	1
Almacén de electricidad	2
Puerta técnica	1
Análisis de circuitos eléctricos	12
Almacén II	2
I medición	4
Maquinas eléctricas	10
Laboratorio L30022	4
Salón de clases L30023	4
Salón de clases L30024	4
Pasillo 1	6
Pasillo 2	1
Pasillo 3	5
Entrada	2
Total de luminarias	76

Contiene el total de luminarias MAGG calculadas con el método de lumen para la planta baja del laboratorio L3. Elaboración propia basada en resultados con luminarias MAGG.

4.4 Estudio luminotécnico asistido por Software DIALux.

4.4.1 Planta baja del laboratorio L3

En la vista superior planta baja del laboratorio L3, figura 13, se ve el emplazamiento de luminarias cuyo diseño fue extraído de los resultados del método de lúmen mostrado en la tabla 19.

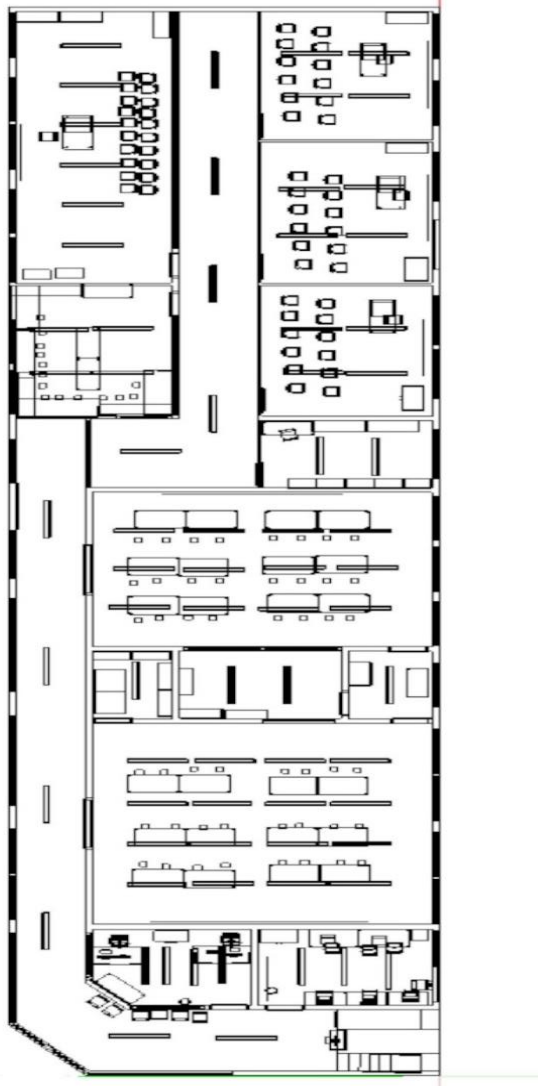


Figura 13. Vista Superior planta baja laboratorio L3

Se observa la vista superior de la planta baja del laboratorio L3 que incluye luminarias y mobiliaria.

Elaboración propia usando Software DIALux.

Para comprobar los resultados obtenidos en el método de lumen se hizo una simulación asistida por el Software DIALux Evo, primero se dibujó, en el software AutoCAD, el laboratorio L3 en 2D y se importó en formato Dxf hacia DIALux. En este software se hizo la simulación en 3D emplazando el número de luminarias obtenidas en tabla 19, resultado método de lumen para la segunda propuesta.

4.4.2 Simulación en 3D laboratorio L3 y curvas fotométricas

La figura 15, vista isométrica del laboratorio L3, es la simulación de correr el software DIALux, se muestra cómo se vería los salones iluminado por luminarias MAGG.

Al correr la simulación en DIALux se observó que en los espacios reducidos como, en los pasillos y en el laboratorio de Máquinas Eléctricas, la cantidad de luminarias propuestas por el método de lumen estaba sobradas para la cantidad requerida en la NOM-025-STPS. Así que se redujeron las luminarias para entrar en las especificaciones.

En la figura 14, se muestran las curvas fotométricas. Dado que el estudio se centra en la distribución de luminarias LED para reducir el consumo eléctrico, respetando la NOM-025-STPS, queda como oportunidad la utilización de las curvas fotométricas que sirven para calcular la intensidad luminosa para cada salón.

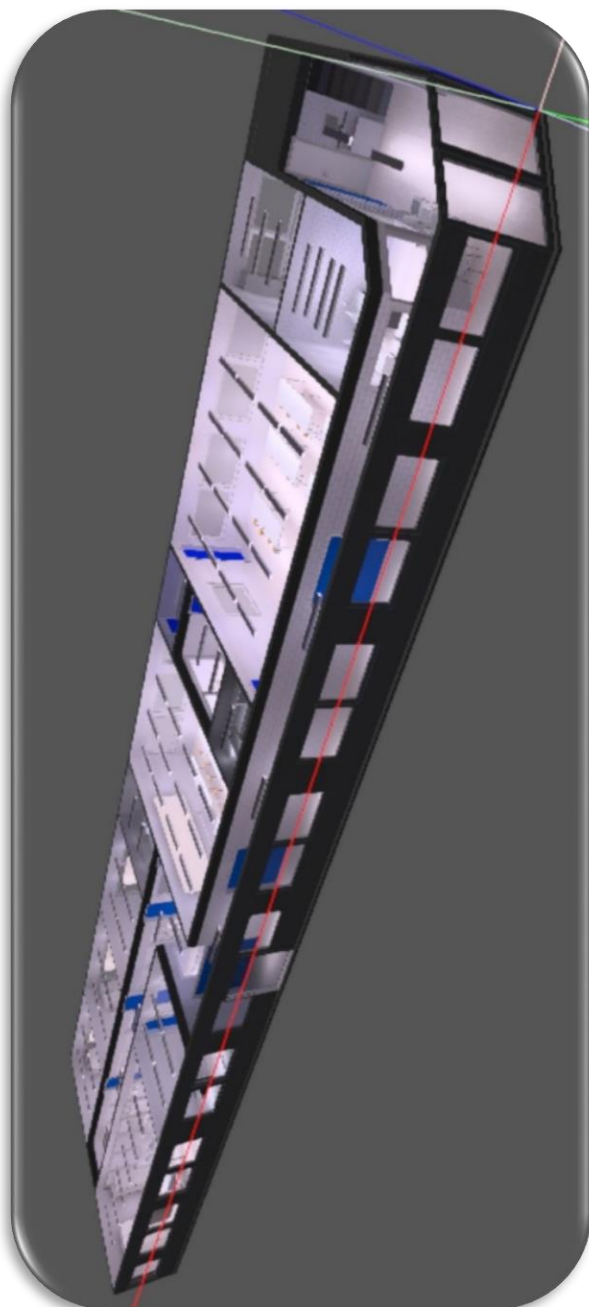


Figura 154. Simulación en 3D de la planta baja del laboratorio L3.



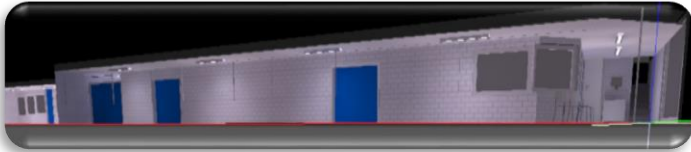
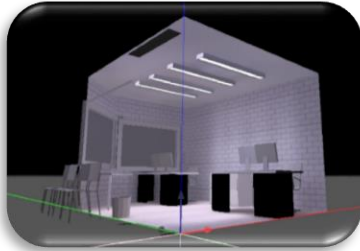

Figura 145. Curvas fotométricas.

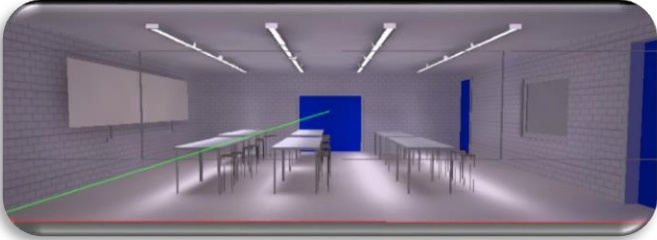
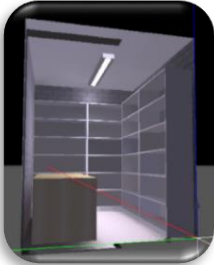
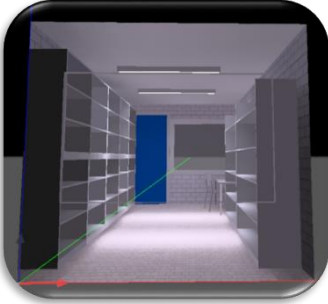
Elaboración propia usando el Software DIALux.

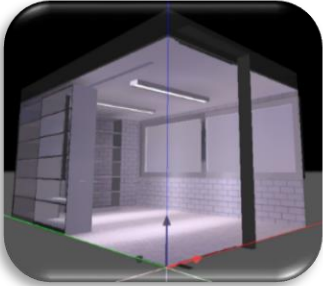


4.4.3 Resultados de simulación en DIALux


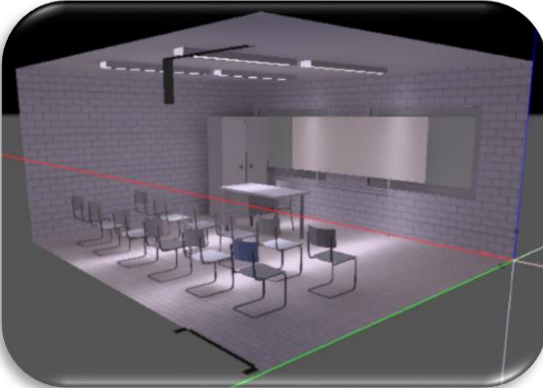
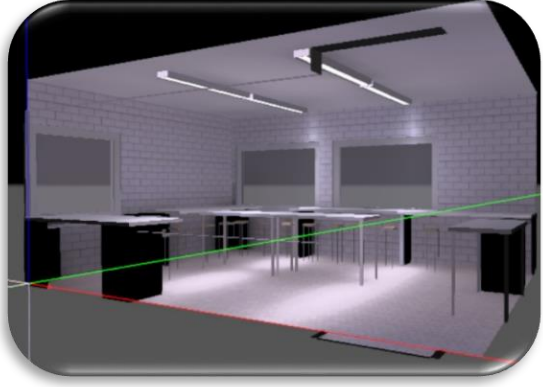
Para ilustrar la simulación DIALux se hizo la tabla 21 que contiene en la tercera columna las imágenes de cada espacio laboral de la planta baja del Laboratorio L3 utilizando la luminaria MAGG, así como la descripción de cómo se logró cumplir con la NOM-025-STPS en la segunda columna y en la primera columna el nombre de cada espacio laboral.

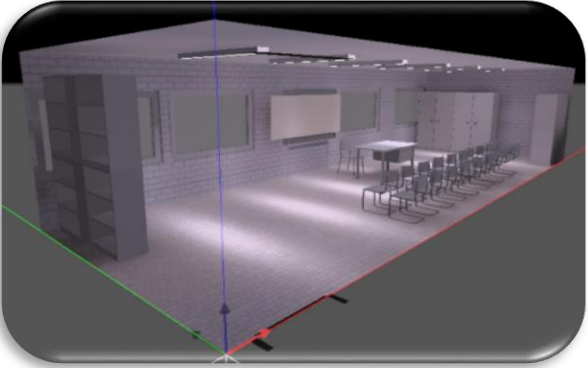
Tabla 21. Resultados gráficos de la simulación en DIALux.

Espacio laboral	Descripción	Simulación DIALux
Pasillo	En el pasillo se observa que en el primer corredor solo hay 4 luminarias, incluso si en el método de lúmen se calculó que se requerían 6. la simulación calcula que con 6 luminarias la luminancia medio era de 346 lx así que se redujo a 4 luminarias y la luminancia disminuyó a 234 lx mismo caso el del segundo corredor.	
Jefatura	En la jefatura requiere 500lx debido a trabajo de precisión que se maneja.	
Servicio social	En el cubículo del servicio social solo se requieren 3 luminarias ya que con 300lx se cumple con el trabajo de oficina.	

Espacio laboral	Descripción	Simulación DIALux
Laboratorio de electricidad y magnetismo	<p>En el laboratorio de electricidad y magnetismo, se consideraron factores adicionales para entrar en la NOM-025-STPS que indica que la luminancia requerida para un laboratorio es de 500 lx. En la primera simulación con muebles la luminancia era de 427lx no llegaba a las especificaciones, así que se tuvieron que considerar más factores. Primero se pintaron las mesas de blanco para que el factor de reflexión aumentara, después se aumentó el grado de reflexión de las ventanas, lo que equivaldría a tener las muy limpias, Solo tomando en cuenta estos factores se alcanzó la luminancia promedio de 542lx.</p>	
Almacén I	<p>En el almacén con 200lx es suficiente ya que es la luminancia requerida para la categoría almacén de acuerdo a la NOM-025-STPS.</p>	
Almacén II	<p>Dado que en el almacén III se hace la inspección simple de aparatos eléctricos como multímetros y osciloscopios es pertinente dejar una luminancia de 334 lx.</p>	

Espacio laboral	Descripción	Simulación DIALux
Almacén III	En el almacén III con 2 luminarias MAGG es suficiente para cumplir con los 200 lx requeridos por la NOM-025-STPS.	
Análisis de circuitos eléctricos	En el laboratorio de análisis de circuitos, se tomaron medidas adicionales para entrar en las especificaciones estipuladas por la NOM-025-STPS. Se pintaron las mesas de blanco para alcanzar un grado de reflexión del 75%, también se aumentó el grado de reflexión de las ventanas para llegar al 50%, solo así se pudo alcanzar los 500lx requeridos por la norma.	
L30022	En el salón L30022 con 4 luminarias MAGG fue suficiente para cumplir con la luminancia de 300lx requeridos por la NOM-025-STPS.	

Espacio laboral	Descripción	Simulación DIALux
L30023	En el salón L30022 con 4 luminarias MAGG fue suficiente para cumplir con la luminancia de 300lx requeridos por la NOM-025-STPS.	
L30024	En el salón L30022 con 4 luminarias MAGG fue suficiente para cumplir con la luminancia de 300lx requeridos por la NOM-025-STPS.	
Imed	Para el salón Imed con 4 luminarias MAGG fue suficiente para cumplir con la luminancia de 300lx requeridos por la NOM-025-STPS.	

Espacio laboral	Descripción	Simulación DIALux
Máquinas eléctricas	En salón máquinas eléctricas, se hizo un ajuste a los resultados del método de lumen tabla 23 ya que indica que se necesitan 8 luminarias hecho que generaba una luminancia excedente, así que se redujeron a 6 luminarias alcanzando así una luminancia de 319lx.	

Resumen los resultados de la simulación en DIALux de la planta baja del laboratorio L3 con luminaria MAGG.

Elaboración propia con base en los resultados de simulación DIALux.

Para conocer los resultados cuantitativos en de la simulación en el Software DIALux se hizo la tabla 22, Resultados DIALux, se puso en la segunda columna las especificaciones de la NOM-025-STPS, a pesar de que no aparecieran la simulación, para que se comprobara si se cumplió la norma por último en la cuarta columna se muestra el consumo en watts por hora.

Tabla 22. Resultados de simulación en DIALux.

Espacio laboral	No. Luminarias	Luxes Reales	Luxes NOM-025	Consumo Watts/hora
Almacén I	1	204	200	30
Almacén II	2	334	200	60
Almacén III	2	239	200	60
Análisis de Circuitos Eléctricos	12	522	500	360
Electricidad y Magnetismo	12	542	500	360
Imed	4	377	300	120
Jefatura	4	576	500	120
Servicio Social	3	310	300	90
L30022	4	330	300	120
L30023	4	312	300	120
L30024	4	341	300	120
Máquinas eléctricas	6	319	300	180
Puerta técnica	1	252	200	30
Pasillo	11	234	100	330
Total	68			2040

Muestra los resultados de la simulación en el software DIALux, Número de luminarias, luxes reales, luxes requeridos por la NOM-025-STPS y el consumo

Elaboración propia con base en resultado de simulación DIALux.

4.5 Consumo eléctrico

Para cortejar la diferencia de consumo actual como el de las dos propuestas. Se realizó la tabla 23 que contiene el consumo por luminaria, el consumo eléctrico de cada salón, así como el consumo total de la planta por hora, también se muestran los consumos por salón con las dos luminarias con las que sí se pudo hacer el estudio experimental de corriente eléctrica con multímetro de gancho. las luminarias fluorescentes OSRAM que están instaladas actualmente y el consumo real con lámpara Montana.

Tabla 23. Comparación de consumo eléctrico teórico contra real

Consumo	Consumo teórico actual con luminarias fluorescentes	Consumo teórico con propuesta de luminarias LED Montana	Consumo teórico con propuesta de luminarias LED MAGG	Consumo real actual con luminarias fluorescentes	Consumo real con propuesta de luminarias LED Montana
Por Balastro	92.8116W	-	-		
Por lámpara	32W	24W	29W	32W	34.29W
por iluminación	96W	24W	29W	88.9W	34.29W
Electricidad y magnetismo	1,152W	600W	348W	1066.8W	857.25W
Jefatura de laboratorios	192W	144W	116W	177.8W	205.74W
Cubículo	192W	96W	86W	177.8W	137.16W
Almacén I	192W	48W	29W	177.8W	68.58W
Almacén II	192W	48W	58W	177.8W	68.58W
Puerta técnica	96W	48W	29W	88.9W	68.58W
Análisis de circuitos eléctricos	864W	576W	348W	800.1W	822.966W
Almacén III	192W	48W	58W	177.8W	68.58W
I medición	384W	144W	116W	355.6W	205.74W
L30021	768W	432W	174W	711.2W	617.22W
Laboratorio L30022	384W	216W	116W	355.6W	308.61W
Salón L30023	384W	216W	116W	355.6W	308.61W
Salón L30024	384W	216W	116W	355.6W	308.61W
Pasillo 1	576W	192W	116W	533.4W	274.32W
Pasillo 2	192W	48W	29W	177.8W	68.58W
Pasillo 3	576W	144W	116W	533.4W	205.74W
Entrada	288W	96W	58W	266.7W	137.16W
Total de luminarias	7,008W	3,312W	2,029W	6489.7W	4732.026W

Contiene el consumo eléctrico actual con luminarias fluorescentes y el de las dos propuestas LED, por lámpara, por balastro en caso de las luminarias fluorescentes, por salón y el consumo total eléctrico de toda la planta del laboratorio.

Elaboración propia con base con base en método de lumen, simulación DIALux y estudio actual.

Capítulo V. Costos Consumo eléctrico CFE

Para conocer el costo del consumo eléctrico con luminarias fluorescentes y luminarias LED, se desarrolló un estudio de consumo eléctrico utilizando las luminarias en los horarios establecidos y los pasillos alumbrados por protocolo en el semestre 2019-I.

5.1 Consumo real eléctrico por iluminación

Ahora se realizará el estudio de consumo eléctrico para el semestre 2019-I utilizando la luminaria LED seleccionada. En esta tabla 24 se puede ver el consumo eléctrico ideal de las lámparas fluorescentes actuales como las de la luminaria MAGG seleccionada sin resultados experimentales.

Tabla 24. Espacios laborales consumo eléctrico real semestre 2019-I

Espacio Laboral	Clave	LED MAGG Wh	Fluorescentes Wh
Pasillo	P	319	1511.3
Jefatura	J	116	177.8
Servicio Social	S	87	177.8
Análisis de Circuitos	C	348	800.1
Electricidad y Magnetismo	E	348	711.2
L30021	M	116	1066.8
L30022	L	116	355.6
L30023			
L30024			
Almacén I	G	29	177.8
Almacén II	F	58	177.8
Almacén III	K	58	177.8
Puerta técnica	T	29	88.9

Muestra los espacios laborales con sus consumos reales por luminarias fluorescentes y LED, la clave con una letra, utilizados en el semestre 2019-I. Elaboración propia con base en datos de consumo experimental.

Se utilizó la tabla 25 para facilitar la introducción de los datos de los salones utilizados en cada horario a la hoja de cálculo Excel y así poder calcular el consumo eléctrico por iluminación tanto fluorescente como LED en cada mes del semestre 2019-I

Tabla 25. Representación semanal de espacios laborales en 24 horas del día.

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
00:00	P	P	P	P	P	P	P
01:00	P	P	P	P	P	P	P
02:00	P	P	P	P	P	P	P
03:00	P	P	P	P	P	P	P
04:00	P	P	P	P	P	P	P
05:00	P	P	P	P	P	P	P
06:00	P	P	P	P	P	P	P
07:00	P	P,K	P,K	P,K	P,E,T,F,K	P,K	P
08:00		M,K	M,K	K	E,T,F,K	E,T,F,K	
09:00		M,K	C,E,M,L,T,F,K	M,K	E,T,F,K	E,T,F,K	
10:00		C,M,K	C,E,L,T,F,K	C,E,M,T,F,K	E,M,T,F,K	E,T,F,K	
11:00		C,E,J,S,T,F,K	C,E,M,J,S,T,F,K	C,E,M,J,S,T,F,K	E,M,J,S,T,F,K	E,J,S,T,F,K	
12:00		C,E,J,S,T,F,K	C,E,M,J,S,T,F,K	C,E,M,J,S,T,F,K	C,E,M,J,S,T,F,K	E,J,S,T,F,K	
13:00		E,L2,J,S,F,K	C,E,M,J,S,T,F,K	C,E,M,J,S,T,F,K	C,E,M,J,S,T,F,K	E,L,J,S,T,F,K	
14:00		E,L2,J,S,T,F,K	C,E,M,J,S,T,F,K	E,M,J,S,T,F,K	C,E,M,J,S,T,F,K	E,L,J,S,T,F,K	
15:00		E,M,J,S,T,F,K	C,E,M,L,J,S,T,F,K	E,M,J,S,T,F,K	C,E,M,L,J,S,T,F,K	E,J,S,T,F,K	
16:00		E,M,J,S,T,F	C,E,M,L,J,S,T,F	C,E,M,J,S,T,F	C,E,M,L,J,S,T,2	E,L,J,S,T,2	
17:00		E,M,L,J,S,T,F	C,E,M,J,S,T,F	C,E,M,L,J,S,T,F	E,M,J,S,T,F	E,M,L,J,S,T,F	
18:00		E,M,L,J,S,G,T,F	C,J,S,G	C,M,L,J,S,G	J,S,G	E,M,J,S,G,T,2	
19:00		E,M,L,J,S,T,F	J,S	M,L,J,S	J,S	M,J,S	
20:00	P	P,L,J,S,T	P,L,J,S	P,M,L,J,S	P,M,L,J,S	P,M,J,S	P
21:00	P	P,J,S	P,L,J,S	P,M,J,S	P,M,L,J,S	P,J,S	P
22:00	P	P	P	P	P	P	P
23:00	P	P	P	P	P	P	P
24:00	P	P	P	P	P	P	P

Contiene todos los salones que están prendidos en a cada hora del día en cada día de la semana.

Elaboración propia con base en uso de cada salón en el semestre 2019-I.

5.1.1 Consumo eléctrico semanal con luminarias fluorescentes en invierno

Para realizar esta tabla 26, se tomaron los valores de la tabla 24 y se remplazaron en la tabla 25 así se puede ver el gráficamente el consumo eléctrico semanal. los horarios marcados en verde son tarifa base, los marcados en amarillo son tarifa intermedia y los rojos son tarifa punta para el horario de invierno.

Tabla 26. Representación del consumo eléctrico real con luminarias fluorescente en invierno.

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
00:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
01:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
02:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
03:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
04:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
05:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
06:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
07:00	1511.3	1689.1	1689.1	1689.1	2667	1689.1	1511.3
08:00		1244.6	1244.6	177.8	1155.7	1155.7	
09:00		1244.6	3378.2	1244.6	1155.7	1155.7	
10:00		2044.7	2311.4	3022.6	2222.5	1155.7	
11:00		2311.4	3378.2	3378.2	2578.1	1511.3	
12:00		2311.4	3378.2	3378.2	3378.2	1511.3	
13:00		1778.02	3378.2	3378.2	3378.2	1866.9	
14:00		1866.92	3378.2	2578.1	3378.2	1866.9	
15:00		2578.1	3733.8	2578.1	3733.8	1511.3	
16:00		2400.3	3556	3200.4	3380.2	1513.3	
17:00		2755.9	3200.4	3556	2400.3	2755.9	
18:00		2933.7	1333.5	2755.9	533.4	2402.3	
19:00		2755.9	355.6	1778	355.6	1422.4	
20:00	1511.3	2311.4	2222.5	3289.3	3289.3	2933.7	1511.3
21:00	1511.3	1866.9	2222.5	2933.7	3289.3	1866.9	1511.3
22:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
23:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
24:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3

Contiene el consumo estándar por iluminación fluorescente en el Horario de invierno, del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre, en la planta baja del laboratorio L3 en el semestre 2019-I.
Elaboración propia con base tarifa de invierno (CFE, 2018).

5.1.2 Consumo eléctrico semanal con luminarias fluorescentes en verano

En la tabla 27 se muestra el consumo eléctrico semanal en el horario de invierno con iluminación fluorescente, se observa que los espacios marcados en verde son la tarifa base, los marcados en amarillo se consideran tarifa intermedia y los marcados en rojo son se consideran tarifa punta.

Tabla 27. Representación del consumo eléctrico real con luminarias fluorescente en verano.

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
00:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
01:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
02:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
03:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
04:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
05:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
06:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
07:00	1511.3	1689.1	1689.1	1689.1	2667	1689.1	1511.3
08:00		1244.6	1244.6	177.8	1155.7	1155.7	
09:00		1244.6	3378.2	1244.6	1155.7	1155.7	
10:00		2044.7	2311.4	3022.6	2222.5	1155.7	
11:00		2311.4	3378.2	3378.2	2578.1	1511.3	
12:00		2311.4	3378.2	3378.2	3378.2	1511.3	
13:00		1778.02	3378.2	3378.2	3378.2	1866.9	
14:00		1866.92	3378.2	2578.1	3378.2	1866.9	
15:00		2578.1	3733.8	2578.1	3733.8	1511.3	
16:00		2400.3	3556	3200.4	3380.2	1513.3	
17:00		2755.9	3200.4	3556	2400.3	2755.9	
18:00		2933.7	1333.5	2755.9	533.4	2402.3	
19:00		2755.9	355.6	1778	355.6	1422.4	
20:00	1511.3	2311.4	2222.5	3289.3	3289.3	2933.7	1511.3
21:00	1511.3	1866.9	2222.5	2933.7	3289.3	1866.9	1511.3
22:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
23:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3
24:00	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3	1511.3

Contiene el consumo estándar por iluminación fluorescente en el Horario de invierno, del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril, en la planta baja del laboratorio L3 en el semestre 2019-I.

Elaboración propia con base en tarifa verano (CFE, 2018).

5.1.3 Consumo eléctrico semanal con luminarias LED en invierno

En la tabla 28 se ilustra el consumo eléctrico semanal en el horario de invierno utilizando luminarias LED, los espacios marcados en verde se consideran tarifa base los amarillos tarifa intermedia y los rojos tarifa punta.

Tabla 28. Representación del consumo eléctrico semanal con luminarias LED en invierno.

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
00:00	319	319	319	319	319	319	319
01:00	319	319	319	319	319	319	319
02:00	319	319	319	319	319	319	319
03:00	319	319	319	319	319	319	319
04:00	319	319	319	319	319	319	319
05:00	319	319	319	319	319	319	319
06:00	319	319	319	319	319	319	319
07:00	319	377	377	377	812	377	319
08:00		174	174	58	493	493	
09:00		74	1073	174	493	493	
10:00		522	957	957	609	493	
11:00		1044	1160	1160	812	696	
12:00		1044	1160	1160	1160	696	
13:00		1829	1160	1160	1160	812	
14:00		1858	1160	812	1160	812	
15:00		812	1276	812	1276	696	
16:00		754	1218	1102	1162	698	
17:00		870	1102	1218	754	870	
18:00		899	580	812	232	727	
19:00		870	203	435	203	319	
20:00	319	667	638	754	754	638	319
21:00	319	522	638	638	754	522	319
22:00	319	319	319	319	319	319	319
23:00	319	319	319	319	319	319	319
24:00	319	319	319	319	319	319	319

Contiene el consumo estándar por iluminación LED en el Horario de invierno, del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre, en la planta baja del laboratorio L3 en el semestre 2019-I.

Elaboración propia con base en tarifa de invierno (CFE, 2018)

5.1.4 Consumo eléctrico semanal con luminarias LED en verano

En la tabla 29 se muestran gráficamente el consumo eléctrico con iluminación LED para el horario de verano, los espacios marcados en verde se consideran tarifa base, los marcados en amarillo tarifa intermedia y los rojos tarifa punta.

Tabla 29. Representación del consumo eléctrico semanal con luminarias LED en verano.

Hora	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
00:00	319	319	319	319	319	319	319
01:00	319	319	319	319	319	319	319
02:00	319	319	319	319	319	319	319
03:00	319	319	319	319	319	319	319
04:00	319	319	319	319	319	319	319
05:00	319	319	319	319	319	319	319
06:00	319	319	319	319	319	319	319
07:00	319	377	377	377	812	377	319
08:00		174	174	58	493	493	
09:00		174	1073	174	493	493	
10:00		522	957	957	609	493	
11:00		1044	1160	1160	812	696	
12:00		1044	1160	1160	1160	696	
13:00		1829	1160	1160	1160	812	
14:00		1858	1160	812	1160	812	
15:00		812	1276	812	1276	696	
16:00		754	1218	1102	1162	698	
17:00		870	1102	1218	754	870	
18:00		899	580	812	232	727	
19:00		870	203	435	203	319	
20:00	319	667	638	754	754	638	319
21:00	319	522	638	638	754	522	319
22:00	319	319	319	319	319	319	319
23:00	319	319	319	319	319	319	319
24:00	319	319	319	319	319	319	319

Contiene el consumo estándar por iluminación LED en el Horario de invierno, del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril, en la planta baja del laboratorio L3 en el semestre 2019-I.

Elaboración propia con base en tarifa de verano (CFE, 2018)

5.2 Período de estudio de costo eléctrico por iluminación.

A continuación se muestra, en la figura 16, el calendario escolar para el semestre 2019-I que ilustra el tiempo que en que se realizó el estudio de costo eléctrico por iluminación, período del 6 de agosto al 30 de noviembre, que es cuando el laboratorio está en funcionamiento. El círculo naranja marca el fin de la tarifa de invierno y el amarillo el inicio de la tarifa de verano.



Figura 16. Calendario escolar semestre 2019-I

Esta figura muestra el calendario del semestre 2019-I extraído de la página principal de la UNAM. (UNAM,2019).

5.3 Costo de iluminación actual con luminarias fluorescentes

Para conocer el costo del consumo eléctrico con las luminarias fluorescentes actuales en la planta baja del laboratorio L3, se hizo un estudio de costo eléctrico con la empresa comisión federal de electricidad, CFE, para el semestre 2019-I.

5.3.1 Agosto 2018

En el mes agosto, cuyos costos se muestran en la tabla 30, se calcula el consumo a partir de día 6 ya que es cuando se inician labores del laboratorio en la FES Aragón así que en este mes solo se cuentan 25 días.

Tabla 30. Costo del consumo iluminación fluorescentes del 6 al 31 de agosto 2018

Concepto	\$	kW-mes	\$/kW-mes
Fijo	641.78		641.78
Base	1.0832	327.9521	355.2377
Intermedia	1.7949	221.361	397.3209
Punta	2.1018	157.2641	330.5377
Capacidad	401.28	1.666141	668.5892
Distribución	84.34	1.666141	140.5224
Transmisión	0.1585	706.58	111.9925
CENACE	0.0091	706.58	6.429853
SCnMEM	0.0054	706.58	3.815517
Total			2,656.23

Se muestra el costo eléctrico considerando los costos fijos y variables de la tarifa GDMTH en el mes de agosto. Elaboración propia con base en conceptos (CFE, 2018).

5.3.2 Septiembre 2018

En el mes de septiembre a pesar de que se contaron más días que en el mes de agosto hubo una reducción en el costo, como se muestra en la tabla 31 la causa fue que automatizó la iluminación en los pasillos del L3, así que se apagan

automáticamente de las lámparas a las 7 am y se encienden a las 7 p.m. además el sábado 15 se contó como día festivo.

Tabla 31. Costo iluminación fluorescentes del 1 al 30 de septiembre 2018

Concepto	\$	kW-mes	\$/kW-mes
Fijo	641.78		641.78
Base	1.1057	329.4634	330.5691
Intermedia	1.8187	193.802	352.4677
Punta	2.1378	135.128	288.87664
Capacidad	407.98	1.604272	654.51106
Distribución	84.34	1.604272	135.30434
Transmisión	0.1585	658.3934	104.35535
CENACE	0.0091	658.3934	5.7988403
SCnMEM	0.0054	658.3934	3.4410701
Total			2,517.10

Se muestra el costo eléctrico considerando los costos fijos y variables de la tarifa GDMTH en el mes de septiembre. Elaboración propia con base en conceptos (CFE, 2018).

5.3.3 Octubre 2018

En el mes de octubre aumento considerablemente el costo eléctrico como se muestra en la tabla 32 debido a que el último domingo de octubre empieza la tarifa de verano, la cual se puede ver en la tabla 22, en dicha tarifa se cuentan todas las horas del día en consecuencia se cuentan más kWh y el costo eléctrico es más alto, este método de pago aplica para la tarifa GDMTH.

Tabla 32. Costo iluminación fluorescentes del 1 al 31 de octubre 2018

Concepto	\$	kW-mes	\$/kW-mes
Fijo	641.78		641.78
Base	1.17	340.0425	397.8497
Intermedia	1.93	300.482	579.9303
Punta	2.28	159.3977	363.4268
Capacidad	436.66	2.165698	945.6737
Distribución	84.34	2.165698	182.655
Transmisión	0.1585	799.9222	126.7877
CENACE	0.0091	799.9222	7.279292
SCnMEM	0.0054	799.9222	4.31958
Total			3,249.70

Se muestra el costo eléctrico considerando los costos fijos y variables de la tarifa GDMTH en el mes de octubre. Elaboración propia con base en conceptos (CFE, 2018).

5.3.4 Noviembre 2018

En el mes de noviembre ya se aplica la tarifa de verano por esa razón incremento tanto el costo como se muestra en la tabla 33, sin embargo, como es el último mes de clases no se después del día 23 solo se consideraron prendidos los pasillos en horarios nocturnos, jefatura y servicio social, además en este mes hubo muchos días inhábiles.

Tabla 33. Costo iluminación fluorescentes del 1 al 30 de noviembre 2018

Concepto	\$	kW-mes	\$/kW-mes
Fijo	641.78		641.78
Base	1.24	256.921	318.582
Intermedia	2.05	505.50	1036.282
Punta	2.42	140.1064	339.0575
Capacidad	465.34	2.8684556	1334.807
Distribución	84.34	2.8684556	241.9255
Transmisión	0.1585	902.53	143.0511
CENACE	0.0091	902.53	8.213031
SCnMEM	0.0054	902.53	4.873667
Total			4,068.572

Muestra el costo eléctrico considerando los costos fijos y variables de la tarifa GDMTH en el mes de noviembre. Elaboración propia con base en conceptos (CFE, 2018).

5.4 Costo de iluminación con luminarias LED en semestre 2019-I

Para conocer el costo de iluminación con las luminarias LED de la marca MAGG propuestas en este trabajo de investigación se realizó un estudio de costo en la planta baja del laboratorio L3 en el semestre 2019-I cuyo periodo es del 6 de agosto al 30 de noviembre, contratando los servicios de la empresa CFE.

Los cálculos las tablas fueron realizadas en la hoja de cálculo Excel.

5.4.1 Agosto 2018

La tabla 34 ilustra el costo a pagar para por el servicio de electricidad de acuerdo a CFE, se muestra la cantidad para cada concepto solo por costo de iluminación LED a partir del 6 de agosto fecha donde inician las actividades en la FES Aragón.

Tabla 34. Costo del consumo eléctrico por luminarias LED del 6 al 31 de agosto 2018

Concepto	\$	kW-mes	\$/kW-mes
Fijo	641.78		641.78
Base	1.0832	70.18	76.01898
Intermedia	1.7949	50.988	91.51836
Punta	2.1018	32.48	68.26646
Capacidad	401.28	0.362309	145.3874
Distribución	84.34	0.362309	30.55714
Transmisión	0.1585	153.648	24.35321
CENACE	0.0091	153.648	1.398197
SCnMEM	0.0054	153.648	0.829699
Total			1,080.11

Muestra el costo eléctrico considerando los costos fijos y variables de la tarifa GDMTH en el mes de agosto. Elaboración propia con base en concepto (CFE, 2018).

5.4.2 Septiembre 2018

En el mes de septiembre como se muestra en la tabla 35 hubo una disminución debido a que la luz en los pasillos se automatizó, entonces de las 7 a.m. a las 7 p.m. se apagan solas las lámparas en los fines de semana, también se contaron 2 días festivos que se cuya tarifa es la misma del domingo.

Tabla 35. Costo del consumo eléctrico por luminarias LED del 1 al 30 de septiembre 2018

Concepto	\$	kW-mes	\$/kW-mes
Fijo	641.78		641.78
Base	1.1057	70.18	77.59803
Intermedia	1.8187	50.988	92.73188
Punta	2.1378	32.48	69.43574
Capacidad	407.98	0.374386	152.742
Distribución	84.34	0.374386	31.57571
Transmisión	0.1585	153.648	24.35321
CENACE	0.0091	153.648	1.398197
SCnMEM	0.0054	153.648	0.829699
Total			1,092.44

Muestra el costo eléctrico considerando los costos fijos y variables de la tarifa GDMTH en el mes de septiembre.
Elaboración propia con base en concepto (CFE, 2018).

5.4.3 Octubre 2018

En el mes de octubre se termina el horario de invierno el último sábado del mes y empieza el horario de verano como se puede verificar en la tabla 6, tarifa para horario de verano en la tabla 36 se muestran los costos de consumo eléctrico.

Tabla 36. Costo del consumo eléctrico por luminarias LED del 1 al 31 de octubre 2018

Concepto	\$	kW-mes	\$/kW-mes
Fijo	641.78		641.78
Base	1.17	71.775	83.97675
Intermedia	1.93	83.501	161.15693
Punta	2.28	39.44	89.9232
Capacidad	436.66	0.459149	200.492
Distribución	84.34	0.459149	38.724627
Transmisión	0.1585	194.716	30.862486
CENACE	0.0091	194.716	1.7719156
SCnMEM	0.0054	194.716	1.0514664
Total			1,249.74

Muestra el costo eléctrico considerando los costos fijos y variables de la tarifa GDMTH en el mes de octubre.
Elaboración propia con base en concepto (CFE, 2018).

5.4.4 Noviembre 2018

En el mes de noviembre se calcula el costo con la tarifa de verano, a pesar de que en esta tarifa incrementa el costo utilizando luminarias LED no incrementó tanto.

Este mes cuenta con 3 días festivos así que se utilizó la respectiva tarifa para el 1, 2 y 19 de noviembre, además en la última semana ya no hay clases así que solo se calculó el consumo de los espacios de jefatura y servicio social cuyo resultado se muestra en la tabla 37.

Tabla 37. Costo del consumo eléctrico por luminarias LED del 1 al 30 de noviembre 2018

Concepto	\$	kW-mes	\$/kW-mes
Fijo	641.78		641.78
Base	1.24	44.022	54.58728
Intermedia	2.05	153.262	314.1871
Punta	2.42	29.986	72.56612
Capacidad	465.34	0.753723	350.7375
Distribución	84.34	0.753723	63.569
Transmisión	0.1585	227.27	36.0223
CENACE	0.0091	227.27	2.068157
SCnMEM	0.0054	227.27	1.227258
Total			1,536.74

Muestra el costo eléctrico considerando los costos fijos y variables de la tarifa GDMTH en el mes de noviembre.
Elaboración propia con base en concepto (CFE, 2018).

5.5 Costo total por iluminación en Semestre 2019-I

En la tabla 38, análisis de costo general en el semestre 2019-I con iluminación fluorescente y LED, es mostrado el análisis de costo por luminarias fluorescentes que son las que están actualmente y por luminarias LED dividido en dos principales categorías costos fijos y costos variables. Separé los costos fijos de los variables por que los fijos son una tarifa que ya engloba el uso mínimo de 100kwh en cualquier consumo de electricidad computadoras, las mismas luminarias y máquinas. Por el contrario, los costos variables son más significativos en la tesis, ya que los calculé dependiendo completamente de consumo por iluminación, inclusive en el costo de capacidad y distribución los calculé con la demanda por iluminación más no por especificaciones de la tarifa GDMTH ya que el mínimo de demanda es 100kwh el consumo por iluminación no llega a tanto. Utilicé el cálculo de la demanda porque es el tema delimitado del trabajo de investigación, de no

haber lo hecho así los costos de distribución de la especificación mínima de 100kwh hubiesen cubierto más del 80 % del costo total sin enfatizar el consumo por iluminación.

Tabla 38. Análisis de costo general en el semestre 2019-I con iluminación fluorescente y LED

		Agosto	Sepatiembre	Octubre	Noviembre	Semestre 2019I	Semestre 2019I	
Concepto		\$/kw-mes	\$/kw-mes	\$/kw-mes	\$/kw-mes	\$/kw-mes	\$/kw-mes	
Luminarias Flourescentes	Costo Fijo Fijo	641.78	641.78	641.78	641.78	2,567.12		
	Base	355.24	330.57	397.85	318.58	1,402.24	1,402.24	
	Intermedia	397.32	352.47	579.93	1,036.28	2,366.00	2,366.00	
	Punta	330.54	288.88	363.43	339.06	1,321.90	1,321.90	
	Distribución	668.59	654.51	945.67	1,334.81	3,603.58	3,603.58	
	Costos Variables	Capacidad	140.52	135.30	182.66	241.93	700.41	700.41
	Transmisión	111.99	104.36	126.79	143.05	486.19	486.19	
	CENACE	6.43	5.80	7.28	8.21	27.72	27.72	
	SCnMEM	3.82	3.44	4.32	4.87	16.45	16.45	
	Total	2,656.23	2,517.10	3,249.70	4,068.57	12,491.60	9,924.48	
Luminarias LED	Costo Fijo Fijo	641.78	641.78	641.78	641.78	2,567.12		
	Base	76.02	77.60	83.98	54.59	292.18	292.18	
	Intermedia	91.52	92.73	161.16	314.19	659.59	659.59	
	Punta	68.27	69.44	89.92	72.57	300.19	300.19	
	Distribución	145.39	152.74	200.49	350.74	849.36	849.36	
	Costos Variables	Capacidad	30.56	31.58	38.72	63.57	164.43	164.43
	Transmisión	24.35	24.35	30.86	36.02	115.59	115.59	
	CENACE	1.40	1.40	1.77	2.07	6.64	6.64	
	SCnMEM	0.83	0.83	1.05	1.23	3.94	3.94	
	Total	1,080.11	1,092.44	1,249.74	1,536.74	4,959.03	2,391.92	

En esta tabla se ve el resumen del costo por iluminación tanto fluorescente que es la que esta actual y LED en cada mes del semestre 2019-I.

Elaboración propia con base en concepto (CFE, 2018).

Así que en la última columna se ven los costos variables por iluminación en todo el semestre 2019-I en la planta baja del laboratorio L3 \$9,924.48 con la iluminación fluorescente actual y \$2,391 con la implementación de luminarias LED.

La figura 17 es una comparación porcentual del costo de consumo eléctrico usando luminarias fluorescentes y el costo utilizando luminarias LED, así se puede ver que el costo por iluminación LED sería el 19% de la iluminación con luminarias fluorescentes.

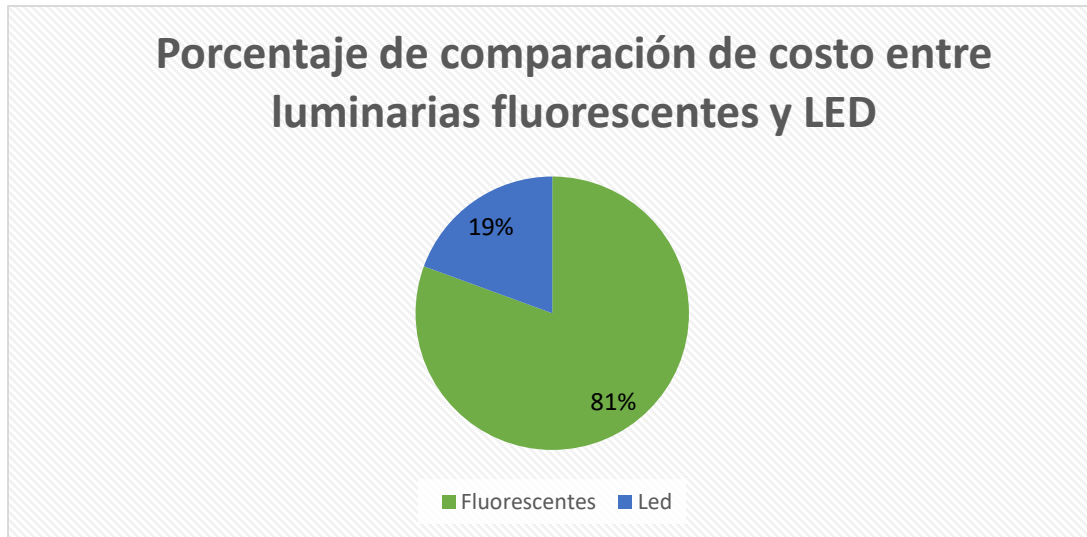


Figura 17. Comparación gráfica en porcentaje del costo por iluminación fluorescente y LED

Esta figura muestra el porcentaje de costo en el semestre 2019-I comparado por iluminación fluorescente y LED elaboración propia.

5.6 Retorno de la inversión

Habiendo obtenido los resultados del estudio de costo a pagar a la empresa Suministradora de Servicios Básicos de \$ 924.48 con la iluminación fluorescente actual y de \$ 2,391.92 con iluminación LED y conociendo el estimado de inversión \$ 65,575 se procede al estudio del retorno de inversión.

Tomando los datos de costos, se puede hacer la estimación del retorno de la inversión mostrado en la tabla 39. Ésta contiene el periodo de tiempo del 2019-1

hasta el 2023-2, Además contiene la diferencia entre el costo del consumo eléctrico a pagar en CFE entre iluminación fluorescente (CF) e iluminación LED (CI).

Tabla 39. Periodo de recuperación inversión de luminarias MAGG.

Semestre	Inversión \$.	CF\$-CI\$	Semestre	Inversión \$	CF\$-CI\$
2019-1	65,575.00	7,532.56	2021-2	27,912.20	7,532.56
2019-2	58,042.44	7,532.56	2022-1	20,379.64	7,532.56
2020-1	50,509.88	7,532.56	2022-2	12,847.08	7,532.56
2020-2	42,977.32	7,532.56	2023-1	5,314.52	7,532.56
2021-1	35,444.76	7,532.56	2023-2	-2,218.04	

En la tabla 39, se muestra el estudio de costos de la recuperación de la inversión.

Elaboración propia con base en (MAGG, 2019). (CFE, 2019).

Dichas estimaciones fueron calculadas con los horarios del semestre 2019-1, para obtener la estimación hasta el semestre 2023-2 se replicó el consumo del semestre 2019-1. Así restando la diferencia a pagar en FCE por consumo eléctrico menos la inversión proyecta la estimación de pago de la inversión, así vemos que en semestre 2020-II se acabaran de pagar las luminarias LED MAGG, dejando un margen de utilidad de las luminarias inclusive hasta el 2050 debido a la vida útil de las luminarias de 50,000 horas como se observa de manera gráfica en la figura 18.

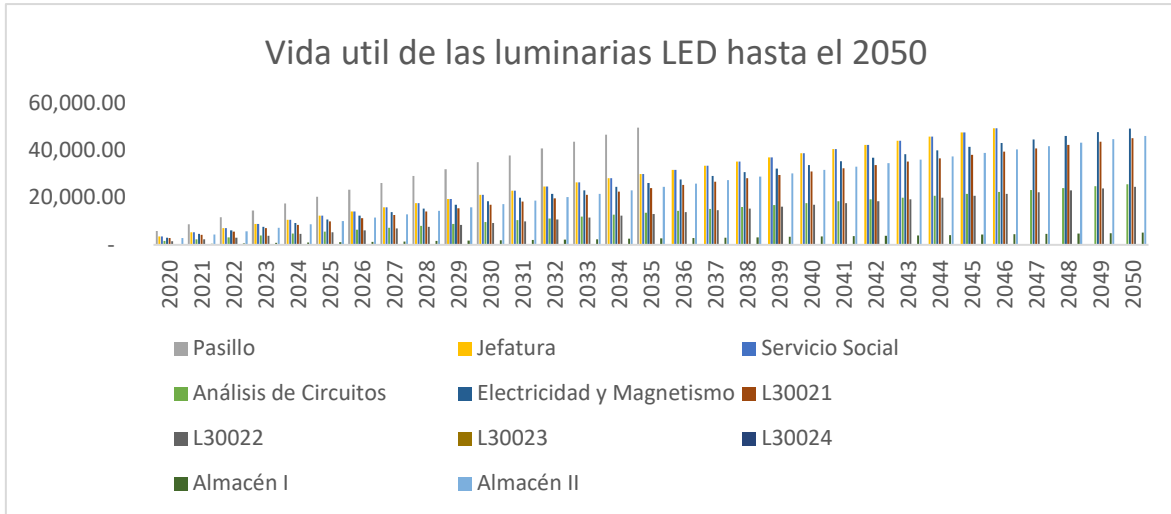


Figura 18. Vida útil de las luminarias LED del 2020 al 2050 en la planta baja del laboratorio L3.

Elaboración propia con base en los horarios L3 semestre 2019-1

La figura 18, es un pronóstico aproximado de la vida útil por salón de las luminarias LED MAGG, dichos datos fueron tomados del horario programada en el semestre 2019-1, programando la estimación hasta el año 2050. Así se puede ver idealmente como solo en tres salones se terminaría la vida útil de las luminarias antes del 2050, en los pasillos en el 2035 y en los laboratorios de electricidad y magnetismo, así como en el laboratorio de análisis de circuitos eléctricos en el año 2046 También se proyecta que hay salones cuyas luminarias durarán después del 2050.

Resultados y Conclusiones

Resultados

Habiendo realizado el trabajo de investigación se obtuvieron los resultados siguientes:

Los espacios de Electricidad y magnetismo, Análisis de circuitos, salón L30022 y jefatura no cumplen para con la NOM-025-STPS, implementando luminarias LED si la cumplen.

Después de evaluar dos luminarias LED bajo el consumo eléctrico, luminaria Montana de 2,400 lm de 24w y luminaria MAGG de 3660 lm de 30W, utilizando el método de lumen y cumpliendo la NOM-025-STPS se pudo ver que se necesitan 138 luminarias Montana para cumplir con la norma lo que significaría un gasto de 3,312kW partiendo del supuesto de que están todas las luminarias encendidas en una hora. Por otra parte, para cumplir con la norma se necesitan 78 luminarias MAGG lo que significaría un gasto de 2,280 kW en una hora de uso. Así se supo que es más eficiente la luminaria MAGG.

El consumo de electricidad por iluminación en el semestre 2019-I en la planta baja del laboratorio L3 se podría reducir de 3,067.46 kWh con iluminación fluorescente a 729.282 kWh con las luminarias LED MAGG de 30W y 3660lm.

Respecto a la simulación en DIALux, se comprobaron los resultados del método de lumen, se descubrió que se requieren menos luminarias para los pasillos el método de lumen arrojó 14 luminarias y en la simulación apareció que se necesitan 11 luminarias. Además, se encontró que la reflexión de las mesas por el color negro no permite que se cumpla la iluminación así que se deben de pintar de color blanco para así cumplir con los 500lx.

También se hizo el cálculo de costo utilizando la empresa nacional CFE obtuvimos como resultado que utilizando las luminarias fluorescentes actuales se gastará en costo variable \$9,924.48 en el semestre 2019-I dicho costo en el mismo periodo de tiempo puede reducir se a \$2,391 implementando luminarias LED.

Dicha implementación tiene más ventajas por ejemplo que las lámparas LED tiene una vida útil de hasta 50,000h cuando las lámparas fluorescentes máximo funcionan durante 15,000h. Además de que las lámparas fluorescentes usan balastro y las lámparas LED no. También las lámparas fluorescentes se funden y hay que remplazarlas en las LED se puede fundir un LED, pero no es necesario remplazar toda la lámpara. Es decir, las lámparas LED usan menos mantenimiento.

Discusión y conclusiones

En conclusión, en el trabajo de investigación me di cuenta de que algunas incongruencias de la teoría con la práctica, por ejemplo, que el método de lumen no es eficiente para espacios angostos, ya que para el pasillo arrojaba más luminarias de las que se corroboraron en la simulación con DIALux.

De hecho, se cumplió la mayoría de los objetivos se hizo un estudio luminotécnico se supo el número de luminarias requeridas en cada espacio, respetando las especificaciones de la NOM-025-STPS. También se conoció la reducción del costo implementando luminarias LED en el semestre 2019-I.

El único objetivo que no se ha cumplido aún es implementar las luminarias LED en un salón certificado debido que no se aprueba aun el presupuesto.

Además, se cumplió la Hipótesis, haciendo el estudio luminotécnico se comprobó que se reducirá el consumo eléctrico en consecuencia el costo, mejorando la distribución de iluminación y cumpliendo con los requerimientos de la NOM-025-STPS.

Los puntos más sobresalientes fueron:

Que tres salones no cumplen con la NOM-025-STPS, electricidad y magnetismo, análisis de circuitos y L30022, también que el kWh ha crecido considerablemente de enero a agosto con la reforma energética y que la reducción

de consumo eléctrico con luminarias fluorescentes es de una sexta parte del consumo con luminarias LED.

Encontré un método para conocer el consumo eléctrico por iluminación tanto fluorescente como LED desarrollando la tabla 25 que contiene las horas de los días semanalmente para insertar los horarios de uso de los salones, tabla 26. Así pude saber el consumo efectivo de watts en el semestre 2019-I, En consecuencia, pude calcular el costo ya sabiendo los conceptos a pagar.

Finalmente, esta propuesta será de utilidad para futuras resoluciones a problemas como la prevención de suspensiones de servicio eléctrico por falta de pago a CFE, la protección de la salud visual de los trabajadores y académicos dentro de un espacio iluminado, previniendo fatiga visual y enfermedades profesionales. Así como la reducción del costo eléctrico.

Referencias

Afifi, A., Bergman, R. (2005) Neuroanatomía funcional texto y atlas. Mc Graw Hill.

Arias, D. S. (2015, mayo) La iluminación artificial y su historia. LA CRÓNICA DEL QUINDÍO. Recuperado de <http://www.cronicadelquindio.com> el 10 de mayo del 2018

Burden, R. L. (2001) Análisis Numérico. México; Thomsom Learning p. 107-109

Cesar, T. (2011) Potencia y eficiencia de una máquina. Cuaderno de cultura científica. Recuperado de: <https://culturacientifica.com> el 11 de mayo del 2018

CFE (2018) Quiénes somos. Recuperado de www.cfe.mx el 9 de octubre del 2018

CFE (2018) Conoce tu recibo. Recuperado de www.cfe.mx el 9 de octubre del 2018

CENACE, Plan estratégico 2017-2021(CRE, 2018). Recuperado de <https://www.cenace.gob.mx> el 9 de octubre 2018

CRE (2018) Anexo b del a/058/2017 – CRE, Recuperado de www.cfe.mx el 9 de octubre del 2018

PHILLIPS (2018, abril) Crea la atmósfera adecuada con luz alógena. Recuperado de www.philips.com.mx el 10 de noviembre del 2018

Ferniza, A., Guerrero, J. (octubre, 2015) Medición De Las Condiciones De Iluminación En Los Sectores Industriales Educativos Y De Servicio Y Su Relación Con Las Afecciones Visuales En El Personal Ocupacionalmente Expuesto. Memorias del congreso internacional de investigación. Academia Juornals Celaya

García, J. (2001) Cálculo de instalación de alumbrado. Recuperado de <https://recursos.citcea.upc.edu> el 10 de mayo del 2018

- Helms, N. R. (1980) Illumination engineering for energy efficient luminous environment [iluminación ingenieril para energía luminosa eficiente en el medio ambiente]. Colorado. USA: Prentice-Hall, Inc.p.160-162.
- Jaimez, E., Guerrero, J. El Nivel Inconveniente de Iluminación Como Factor De Riesgo En El Área De Confección De Una Empresa Textil. Memorias del congreso internacional de investigación. Academia Journals Celaya.
- Jiménez, V. B., Aguilar R. M. (1995) iluminación y color. Valencia: UPV
- Guyton, A., Hall, J. (2000) Tratados de Fisiología Médica. New York: Graw Hill.
- Khanh, T.Q. P., Bodrogi, Q.T., Vinh, H. winkler. (2015). LED Lighting [iluminación LED]. Weinheim. Germany: Wiley-VCH.p.8.
- Lozano, A. J. (2008, diciembre) NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Recuperado de <http://dof.gob.mx> el 12 de febrero del 2018
- Martínez, H. J. (2010, mayo) ¿Qué significa sostenibilidad para la escuela? Recuperado de <http://www.mapama.gob.es> el 12 de febrero del 2018
- MAGG (2018) MAGG que bien se ve. Recuperado de <https://www.magg.com.mx> el 15 de abril 2018
- Montana (2018) mercado libre. Recuperado de <https://articulo.mercadolibre.com.mx> el 15 de abril 2018
- Miranda, M. J., Martínez G. S, Hernández M. J. (2014). Análisis del tratamiento actual de las lámparas fluorescentes, Nivel de contaminantes y disposición final. San Salvador: UTEC.
- Nairn, A. (2002). Engines that moves markes . Canada: John Wiley & Sons.
- Qué es la luminancia (2017, octubre) Blog EFECTOLED. Recuperado de <http://www.efectoled.com> el 9 de febrero 2018
- Ramírez, V. J. (septiembre 1986) LUMINOTECNIA. Barcelona. España: CEAC. p 23-45.
- Ronald, W. (1992) Probabilidad y estadística; MCGRAW-HILL p. 373-376.

Salinas, J. (2013). Corta CFE luz a 40 escuelas. La jornada, 45. Recuperado de <http://www.jornada.com.mx> el 10 de marzo 2018

Sanz, J. Sebastián O. y Portela J. (octubre, 2015) Evaluación y Acondicionamiento del Trabajador en Puestos de Trabajo; INSHT.

Valdez, R. A. (2018). Cortan Luz a guarderías y preparatorias. La jornada, 26. Recuperado de <http://www.jornada.com.mx> el 9 de marzo 2018

Valentini, G., (2018, marzo) GREENDATES, recuperado de <http://greendates.com.mx> el 9 de marzo 2018

Vaugahan, D., Asbury T., Tabbara K., (1991) Oftalmología General. El manual moderno. DF. México

Vittorio, R. (1989) Iluminación interna. Barcelona. España: Marcombo Boixareu, Editores. P.101-103.

Vidal, L. R. Acerca de CFE distribución. Recuperado de <http://portal.cfe.mx> el 5 de octubre 2018

Yam, F.K. y Hassan Z., (2005) Innovative advances in LED technology [Avances innovadores en tecnología LED] pdfs.semanticscholar.org CDMX

Zheludev y Nikolay (2015, febrero) La verdadera historia del LED. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA. Recuperado de www.investigacionyciencia.es el 15 de febrero 2018

Referencias de figuras

Figura 1. Variables luminotécnicas

Ramírez, V. J. (septiembre 1986) LUMINOTECNIA. Barcelona. España: CEAC. p 23-45.

Figura 2. Ángulo sólido

Ramírez, V. J. (septiembre 1986) LUMINOTECNIA. Barcelona. España: CEAC. p 23-45.

Figura 3. Sistema visual humano

Khanh, T.Q.P., Bodrogi, Q.T. Vinh, H. Winkler. (2015). LED Lighting [iluminación LED]. Weinheim. Germany: Wiley-VCH. p.8.

Figura 4. Estructura del ojo humano

Khanh, T.Q.P., Bodrogi, Q.T. Vinh, H., Winkler. (2015). LED Lighting [iluminación LED]. Weinheim. Germany: Wiley-VCH, p.9.

Figura 5. Tecnología LED

Yam, F.K. y Hassan, Z., (2005) Innovative advances in LED technology [Avances innovadores en tecnología LED] pdfs.semanticscholar.org CDMX

Figura 6. Esquema tarifario

CFE (2018) Quiénes somos. Recuperado de www.cfe.mx el 9 de octubre del 2018

Figura 7. Incremento del kW en la tarifa GDMTH

CFE (2018) Quiénes somos. Recuperado de www.cfe.mx el 9 de octubre del 2018

Figura 8. Costo fijo, capacidad y distribución en la tarifa GDMTH

CFE (2018) Quiénes somos. Recuperado de www.cfe.mx el 9 de octubre del 2018

Figura 16. Calendario escolar semestre 2019-I

McNair, D., Colm, C., Richard P, and Brian M,. 2011. Light and Lighting Design For People With Dementia. Australia: Hammond Press.

Referencias de tablas

Tabla 1. Niveles de iluminación

Lozano, A. J. (2008, diciembre) NORMA oficial mexicana nom-025-STPS-2008 Condiciones de trabajo en los centros de iluminación. DIARIO OFICIAL. Recuperado de <http://www.stps.gob.mx> el 10 de noviembre 2018

Tabla 2. Factor de reflexión

Salazar L. B. (2016) Iluminación, INGENIERIAINDUSTRIALONLINE.COM. Recuperado de www.ingenieriaindustrialonline.com el 9 de enero 2018

Tabla 3. Coeficiente de utilización

Pérez A. J., Luis, R. C., Ernesto, I. (2013) Propuesta de iluminación con tecnología led en la biblioteca de la ESIME Zacatenco: IPN Página 54.

Tabla 4. Factor de mantenimiento

Factor de mantenimiento de las luminarias LED (2010, julio) Excellent lighting saving money. ETAP, Recuperado de www.etaplighting.com el 5 de mayo 2018

Tabla 5. Cuotas GDMTH para Valle de México en febrero 2018

CFE (2018) Conoce tu recibo. Recuperado de www.cfe.mx el 9 de octubre 2018

Tabla 6. Tarifa para horario de verano

CFE (2018) Conoce tu recibo. Recuperado de www.cfe.mx el 9 de octubre 2018

Tabla 7. Tarifa para horario de invierno

CFE (2018) Conoce tu recibo. Recuperado de www.cfe.mx el 9 de octubre 2018

Anexos

Anexo 1 Método Interpolación lineal de Lagrange

Este método es de mucha utilidad en ingeniería ya que nos permite encontrar un valor desconocido de una variable en una función a partir de datos encontrados dentro de una función o una tabulación.

Con este método encontramos polinomios de aproximación que se determinan con solo especificar determinados puntos en el plano por donde deben pasar.

El problema de encontrar un polinomio de primer grado que pase por los puntos distintos (x_0, y_0) y (x_1, y_1) es el mismo que el de aproximar una función f , para la cual $f(x_0) = y_0$ y $f(x_1) = y_1$ por medio de un polinomio de primer grado que interpole los valores de f en los puntos dados o que coincidan con ellos. Primero definiremos las funciones

$$L_0(x) = \frac{x-x_1}{x_0-x_1} \quad y \quad L_1(x) = \frac{x-x_0}{x_1-x_0} \quad A.1$$

Y se define entonces

$$P(x) = L_0(x)f(x_0) + L_1(x)f(x_1) \quad A.2$$

Como

$$L_0(x_0) = 1. \quad L_0(x_1) = 0. \quad L_1(x_0) = 0. \quad y \quad L_1(x_1) = 1.$$

Tenemos

$$p(x_0) = 1 \cdot f(x_0) + 0 \cdot f(x_1) = f(x_0) = y_0 \quad A.3$$

Y

$$p(x_1) = 1 \cdot f(x_0) + 0 \cdot f(x_1) = f(x_1) = y_1 \quad A.4$$

Así p es la única función lineal que pasa por (x_0, y_0) y (x_1, y_1)

A fin de generalizar el concepto de interpolación lineal, consideramos la construcción de un polinomio de grado máximo n que posea por los $n+1$ puntos

$$(x_0, f(x_0)), (x_1, f(x_1)), \dots, (x_n, f(x_n)) \quad A.5$$

En este caso para cada $k=0, 1, \dots, n$ construimos una función $l_{n,k}(x)$ con la propiedad de que $l_{n,k}(x_i) = 0$, cuando $i \neq k$ y $l_{n,k}(x_k) = 1$. Para satisfacer $l_{n,k}(x_i) = 0$ para cada $i \neq k$ se requiere que el numerador de $l_{n,k}(x)$ contenga el término

$$(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_n) \quad A.6$$

Para satisfacer $l_{n,k}(x_k) = 1$, el denominador de $l_{n,k}(x)$ debe coincidir con este término cuando se evalúe en $x = x_k$. Es decir,

$$L_{n,k}(x) = \frac{(x - x_0) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_n)}{(x - x_0) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_n)} \quad A.7$$

EL polinomio de interpolación se describe fácilmente ahora que conocemos la forma de $L_{n,k}$. Este polinomio, denominado n-ésimo polinomio interpolante de Lagrange, se define en el siguiente teorema.

Sean x_0, x_1, \dots, x_n , $n + 1$ números distintos en donde la función f toma los valores de estos números, entonces existe un polinomio $P(x)$ de grado máximo n , que cumple

$$F(x_k) = P(x_k) \text{ para cada } k= 0,1, \dots, n.$$

Este polinomio está dado por

$$P(x) = f(x_0)L_{n,0}(x) + f(x_n)L_{n,n}(x) = \sum_{k=0}^n f(x_k)L_{n,k}(x) \quad A.8$$

Donde para cada $K=0,1, \dots, n$.

$$L_{n,k} = \frac{(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_{k+n})}{(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_{k+n})}$$

$$= \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^n \frac{(x - x_i)}{(x_k - x_i)} \quad A.9$$

Escribimos $L_{n,k}(x)$ simplemente como L_k cuando no hay confusión respecto a su grado. Richard L. Burden (2001 p. 107-109)

Anexo 2 Ajuste utilizando el método de mínimos cuadrados

Regresión lineal

Es común encontrar en la práctica problemas cuya resolución implica conjuntos de variables, cuando se sabe que hay alguna relación inherente entre ellas. Tanto con una variable independiente “X” como una dependiente “Y” se puede desarrollar un método de predicción. Esto es un método para estimar el valor de la siguiente variable dependiente.

El método de mínimos cuadrados

Se usa para encontrar a y b, y las estimaciones de α y β , haciendo que la suma de los cuadrados de los residuos se minimice al máximo. En general, la suma de cuadrados de los residuos se le nomina como suma de cuadrados de los errores alrededor de la línea de regresión y la vemos como SSE. Este procedimiento que minimiza la estimación de los parámetros se llama método de mínimos cuadrados. De aquí que se hayan a y b cuyo objetivo es minimizar.

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_1 - \bar{y}_1)^2 = \sum_{i=1}^n (y_1 - a - bx)^2 \quad A. 10$$

Diferenciando SSE con respecto a “a” y “b”, se tiene:

$$\frac{\partial(SSE)}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_1 - a - bx_i) \quad A. 11$$

$$\frac{\partial(SSE)}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)x_i \quad A.12$$

Al igualar las derivadas parciales a cero y reacomodar términos, se obtiene las ecuaciones siguientes (llamadas ecuaciones normales):

$$na + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \quad A.13$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad A.14$$

Mismas que se pueden resolver conjuntamente para obtener las fórmulas para calcular a y b.

Estimación de los coeficientes de regresión

Obtenida la muestra $\{x_i, y_i\}, i = 1, 2, \dots, n\}$, las estimaciones de mínimos cuadrados de a y b de los coeficientes de regresión a y b se calculan utilizando las siguientes ecuaciones.

$$m = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad A.15$$

$$X = \frac{\sum x}{n} \quad A.16$$

$$Y = \frac{\sum y}{n} \quad A.17$$

$$b = Y - mX \quad A.18$$

Ronald Wapole (1992 p.373-377)

Anexo 3 NOM-025-STPS

A continuación, se muestra la NOM-025-STPS extraída de la página oficial Diario de la Nación para la libre consulta.

Con fecha 27 de septiembre de 2005, en cumplimiento de lo previsto por el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social presentó ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad y Salud en el Trabajo, el Anteproyecto de Modificación de la presente Norma Oficial Mexicana y que el citado Comité lo consideró correcto y acordó que se publicará como Proyecto en el Diario Oficial de la Federación (Lozano, 2008).

Que con objeto de cumplir con lo dispuesto en los artículos 69-E y 69-H de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, el Anteproyecto correspondiente fue sometido a la consideración de la Comisión Federal de Mejora Regulatoria, la que dictaminó favorablemente en relación al mismo (Lozano, 2008).

Que con fecha 5 de junio de 2008, en cumplimiento del Acuerdo por el que se establecen la organización y Reglas de Operación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad y Salud en el Trabajo, y de lo previsto por el artículo 47

fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, para quedar como PROY-NOM-025-STPS-2005, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo (Lozano, 2008).

Que, habiendo recibido comentarios de diez promoventes, el Comité referido procedió a su estudio y resolvió oportunamente sobre los mismos, publicando esta dependencia las respuestas respectivas en el Diario Oficial de la Federación el 12 de diciembre de 2008, en cumplimiento a lo previsto por el artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (Lozano, 2008).

Que derivado de la incorporación de los comentarios presentados al Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, para quedar como PROY-NOM-025-STPS-2005, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, así como de la revisión final del propio proyecto, se realizaron diversas modificaciones con el propósito de dar claridad, congruencia y certeza jurídica en cuanto a las disposiciones que aplican en los centros de trabajo, y (Lozano, 2008).

Anexo 4 Vida útil de luminarias LED por salón

A continuación, se muestran todos los datos de la estimación de vida de las luminarias tomando en cuenta el uso de los salones en la planta baja del L3 mostrado en la tabla anexada.

Tabla Anexada Vida útil de luminarias LED

Año	P	J	S	C	E	M	L	G	F	K	T
2019	2912	1760	1760	800	1536	1408	768	160	1440	1440	1536
2020	5824	3520	3520	1600	3072	2816	1536	320	2880	2880	3072
2021	17472	10560	10560	4800	9216	8448	4608	960	8640	8640	9216
2022	11648	7040	7040	3200	6144	5632	3072	640	5760	5760	6144
2023	14560	8800	8800	4000	7680	7040	3840	800	7200	7200	7680
2024	17472	10560	10560	4800	9216	8448	4608	960	8640	8640	9216
2025	20384	12320	12320	5600	10752	9856	5376	1120	10080	10080	10752
2026	23296	14080	14080	6400	12288	11264	6144	1280	11520	11520	12288
2027	26208	15840	15840	7200	13824	12672	6912	1440	12960	12960	13824
2028	29120	17600	17600	8000	15360	14080	7680	1600	14400	14400	15360
2029	32032	19360	19360	8800	16896	15488	8448	1760	15840	15840	16896
2030	34944	21120	21120	9600	18432	16896	9216	1920	17280	17280	18432
2031	37856	22880	22880	10400	19968	18304	9984	2080	18720	18720	19968

2032	40768	24640	24640	11200	21504	19712	10752	2240	20160	20160	21504
2033	43680	26400	26400	12000	23040	21120	11520	2400	21600	21600	23040
2034	46592	28160	28160	12800	24576	22528	12288	2560	23040	23040	24576
2035	49504	29920	29920	13600	26112	23936	13056	2720	24480	24480	26112
2036		31680	31680	14400	27648	25344	13824	2880	25920	25920	27648
2037		33440	33440	15200	29184	26752	14592	3040	27360	27360	29184
2038		35200	35200	16000	30720	28160	15360	3200	28800	28800	30720
2039		36960	36960	16800	32256	29568	16128	3360	30240	30240	32256
2040		38720	38720	17600	33792	30976	16896	3520	31680	31680	33792
2041		40480	40480	18400	35328	32384	17664	3680	33120	33120	35328
2042		42240	42240	19200	36864	33792	18432	3840	34560	34560	36864
2043		44000	44000	20000	38400	35200	19200	4000	36000	36000	38400
2044		45760	45760	20800	39936	36608	19968	4160	37440	37440	39936
2045		47520	47520	21600	41472	38016	20736	4320	38880	38880	41472
2046		49280	49280	22400	43008	39424	21504	4480	40320	40320	43008
2047				23200	44544	40832	22272	4640	41760	41760	44544
2048				24000	46080	42240	23040	4800	43200	43200	46080
2049				24800	47616	43648	23808	4960	44640	44640	47616
2050				25600	49152	45056	24576	5120	46080	46080	49152

Muestra los datos de la proyección de utilización de las luminarias desde el semestre 2019-I hasta el año 2050 así se puede ver el periodo de vida de las luminarias.

Anexo 5 Breve historia de la iluminación

Fuego

Desde hace miles de años el hombre logró conquistar el fuego.

Recientemente estudios han revelado que en Kenia se calentaron fragmentos de arcilla a 400°centígrados para endurecerlos, éstos dan una antigüedad de 1,42 millones de años Arias (2015).

En china se hallaron rastros de uso de fuego que datan de hace 500 mil a un millón de años, la evidencia son restos óseos de hueso quemado, y el análisis con espectroscopía de infrarrojo arrojó la presencia de óxidos Arias (2015).

Se puede suponer que el primer alumbrado fue la fogata que se utilizó dentro cuevas para iluminar cuando el sol se ocultaba. Después siguió la antorcha como primera luminaria que se podía mover de un lugar a otro para explorar lugares oscuros Arias (2015).

Las tecnologías que destacan según Arias (2015) en iluminación por fuego son:

- El candelabro que remonta su origen a la antorcha resinosa sin embargo su reconocimiento oficial se les atribuye a los Etruscos en el siglo VII años a.c. pertenecientes a la edad antigua.

- Las Velas que se usaban desde la edad media con sebo de animales, pero fueron popularizadas en el siglo XVIII por la cultura francesa utilizando cera de abeja y posteriormente parafina.
- La palmatoria, esta tecnología era un pequeño plato hecho de broce que soportaba una vela. se especula que su origen fue francés debido a que en la literatura del siglo XIX se le hace mucha referencia.
- El candelero de tipo burbuja tecnología que tenía una esfera de cristal cuyo interior se alumbraba por una vela fueron fabricados en 1930.
- Lámparas de aceite creadas por los egipcios se reconoce desde el siglo X.

Lámparas

Después se desarrolló la lámpara de gas obteniendo su auge en el siglo XIX en Gran Bretaña se utilizaba principalmente en alumbrados de calles (Nairn, 2002).

También en el siglo XIX se desarrolló la lámpara de arco por primera vez por el sir Humphry Davy, pero comercializada por el francés Foucault para alumbrado de las calles (Nairn, 2002).

Después en el año 1878 fue desarrollada la bombilla incandescente popularmente se sabe que fue Thomas Alba Edison quien la inventó ya que él la comercializó en 1880 en New York. Pero, la primera patente de una bombilla incandescente fue desarrollada en Inglaterra por Joseph Wilson Swan (Nairn, 2002).

Las bombillas incandescentes funcionan con un filamento de tungsteno sostenido por dos alambres dentro de una bombilla que al interior contiene gas inerte. La luz se produce al pasar una corriente por el filamento provocando un efecto joule y calentado el filamento al rojo vivo (Nairn, 2002).

Las bombillas de alógeno fueron desarrolladas en el año 1995 mejorando la clásica lámpara incandescente se dice que la desarrollaron ingenieros de Phillips.

Dicha tecnología usa alógenos que son monovalentes que forman fácilmente iones negativos se conoce como alógenos al yodo, flúor, cloro, bromo y ástato. El vidrio en estas lámparas se sustituye por cuarzo para soportar más altas temperaturas. Crea la atmósfera adecuada con luz alógena (PHILLIPS, 2004).

Francis Hawksbee fue un científico inglés del siglo XVIII; descubrió que poniendo una pequeña cantidad de mercurio en el cristal del generador de Von Guericke y evacuando el aire de este, y hacerlo girar gradual y rápidamente, emanaba luz brillante de su interior. Este brillo es similar al fenómeno conocido

como “Fuego de San Elmo”; este brillo extraño era visto alrededor de barcos durante las tormentas eléctricas (Araujo, 2008) p57.

El físico irlandés George Stokes, en el siglo XIX, acuñó el término fluorescencia después de observar el fenómeno en el compuesto fluorita, publicando luego la primera ley para manejar el estudio de la fluorescencia, gran parte de la cual aún permanece como verdadera. En 1859, el físico francés Alexander Edmond Becquerel describió una lámpara fluorescente como un tubo de vidrio que contenía compuestos fluorescentes y otros gases, construyendo la primera lámpara fluorescente en 1867 (Flavin, 2008; Miranda, Martínez y Hernández 2014) p14.

Las lámparas LED fueron desarrolladas en el siglo XX por Henry Round. Él descubrió que, al unir dos semiconductores, éstos podían producir luz. El ruso Oleg Vladimirovich Losev independientemente creó la primera lámpara LED en 1920 y la comercializó en Europa, pero el invento fue en gran parte ignorado. Después investigadores de laboratorios de Texas Instrument descubrieron que la aleación de arseniuro de galio producía luz infrarroja mismo descubrimiento se patentó por Zheludev y Nikolay (2015).

Finalmente en General Electric, la primera invención de LED fue basada en GaAsP semiconductor material por Holonyak y Bavacqua en 1962, quien emitió luz roja de baja luminosidad eficiencia a cerca de 0.1 lm/W. Desde entonces el progreso remarcable en los LEDs actuación que ha sido reportada. El desarrollo histórico de la eficiencia de los lúmenes de espectro

visible LEDs. Es encontrado como la luz de salida que actúa en los LEDs ha ido mejorando poco a poco cada 10 años. Este progreso muy rápido en LEDs actuación que principalmente puede ser atribuida a los crecientes avances técnicos de los semiconductores, que dirigen a la alta pureza de los materiales y bajos defectos de densidad. Así como el uso de nuevas estructuras LED resultando gran eficiencia cuántica, es decir, que gran porcentaje de la corriente eléctrica se convierte en iluminación dependiendo del color del LED (Yam y Hassan 2005).

Todas las marcas mencionadas en este trabajo son propiedad de sus respectivos dueños y son mencionadas en esta tesis únicamente con fines académicos.