



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS

DESARROLLO DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA PARA EL CENTRO DE ENSEÑANZA PARA EXTRANJEROS, "CEPE".

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

PRESENTA:

RAQUEL RODRÍGUEZ VILLENA

DIRECTOR DE TESIS

M.I. ELEUTERIA SILVINA ALONSO SALINAS



CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2016.
CDMX



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Tabla de contenido

	Página
Introducción.....	6
Capítulo 1. Conceptos básicos	11
1.1 Conceptos básicos de Iluminación	11
1.2 La luz	11
1.3 El color.....	13
1.4 Unidades de medición	14
1.5 Tecnologías disponibles en fuentes luminosas.....	18
1.6 Luminarios.....	24
1.7 Dispositivos de control para el alumbrado	26
1.8 Métodos de cálculo para iluminación en interiores.	27
1.9 Conceptos básicos de aire acondicionado.	33
1.10 Eficiencia en equipo de aire acondicionado.....	37
Capítulo 2. Sistema de iluminación.....	38
2.1 Características y ubicación del CEPE.....	38
2.1.1 Ubicación del CEPE.....	38
2.1.2 Edificaciones existentes	39
2.1.3 Áreas de trabajo.....	39
2.2 Sistema de iluminación actual	40
2.2.1 Fuentes luminosas actuales	40
2.2.2 Niveles de iluminación	40
2.2.3 Densidad de potencia eléctrica de alumbrado.	45
2.3 Sistema de iluminación propuesto	47
2.3.1 Cálculos aplicando el método de los lúmenes.....	48
2.3.2 Simulación utilizando Dialux	49
2.3.3 Niveles de iluminación.	55
2.3.4 Densidad de potencia eléctrica de alumbrado.	56
2.3.5 Control de iluminación.....	58
Capítulo 3. Sistema de aire acondicionado.....	59
3.1 Parámetros de diseño	59
3.1.1 Carga térmica generada por equipo, alumbrado y ocupantes.	60
3.2 Sistema de aire acondicionado actual.	62

3.2.1	Carga térmica actual.....	63
3.3	Carga térmica con sistema de iluminación propuesto.....	64
3.4	Sistema de aire acondicionado propuesto.....	64
3.5	Control del sistema de aire acondicionado.....	64
Capítulo 4. Análisis.....		65
4.1	Análisis del sistema actual.....	65
4.1.1	Carga eléctrica instalada.....	65
4.1.2	Consumo y costo eléctrico.....	66
4.1.3	Eficacia.....	68
4.1.4	Gases de efecto invernadero.....	69
4.2	Análisis del sistema propuesto.....	71
4.2.1	Carga eléctrica instalada.....	71
4.2.2	Consumo y costo eléctrico.....	71
4.2.3	Eficacia.....	72
4.2.4	Gases de Efecto Invernadero.....	72
4.2.5	Análisis económico.....	73
4.3	Comparativo.....	76
4.3.1	Niveles de iluminación.....	76
4.3.2	Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado.....	77
4.3.3	Eficacia.....	77
4.3.4	Carga eléctrica instalada.....	78
4.3.5	Consumo eléctrico.....	78
4.3.6	Costo eléctrico.....	78
4.3.7	GEI.....	79
Capítulo 5. Conclusiones y Reflexiones.....		80
Bibliografía.....		81
Mesografía.....		82
Anexos.....		83

Índice de tablas.

Tabla 1.1 Longitudes de onda de la luz visible.....	11
Tabla 1.2 Temperatura de color en lámparas.....	14
Tabla 1.3 Factor de mantenimiento.....	17
Tabla 1.4 Color de los LED de acuerdo a sus compuestos.	23
Tabla 1.5 Clase de eficiencia energética para aire acondicionado.	37
Tabla 2.1 Edificaciones existentes en CEPE.	39
Tabla 2.2 Áreas y planos de trabajo determinadas en CEPE.....	39
Tabla 2.3 Lámparas existentes en CEPE.....	40
Tabla 2.4 IC's y zonas a evaluar. NOM-025-STPS-2008.....	42
Tabla 2.5 Niveles de iluminación promedio medidos.....	44
Tabla 2.6 Niveles de DPEA establecidos por la NOM-007-ENER-2014.	45
Tabla 2.7 Potencia del conjunto lámpara balastro.	46
Tabla 2.8 DPEA en el edificio A del CEPE	46
Tabla 2.9 DPEA en el edificio B del CEPE.....	46
Tabla 2.10 DPEA calculados para el edificio D del CEPE	46
Tabla 2.11 DPEA para pasillos de CEPE.	47
Tabla 2.12 Luminarias propuestas. Elaboración propia.....	48
Tabla 2.13 Número de lámparas en cada edificio.....	48
Tabla 2.14 UGR. Recuperado de: ISO-8995:2002 CIE S 008/E.	55
Tabla 2.15 VCP. Recuperado de: ISO-8995:2002 CIE S 008/E.	55
Tabla 2.16 Resumen de los parámetros lumínicos obtenidos a través de la simulación..	56
Tabla 2.17 Potencias del conjunto lámpara balastro de las luminarias propuestas.....	57
Tabla 2.18 DPEA calculada en el edificio A del CEPE..	57
Tabla 2.19 DPEA calculada en el edificio B del CEPE.....	57
Tabla 2.20 DPEA calculada en el edificio D del CEPE.	58
Tabla 3.1 Condiciones de temperatura y humedad recomendadas.....	59
Tabla 3.2 Calor sensible y latente generado por ocupantes.....	60
Tabla 3.3 Calor sensible y latente generado por equipo eléctrico y electrónico.....	61
Tabla 3.4 Calor sensible y latente generado por equipo eléctrico y electrónico.....	61

Tabla 3.5 Unidades condensadoras en la azotea del edificio B.	62
Tabla 3.6 Unidades condensadoras en la azotea del edificio D.....	63
Tabla 3.7 Resumen de la carga térmica debida a la iluminación.....	63
Tabla 3.8. Cargas térmicas actuales de cada área.	64
Tabla 3.9 Niveles mínimos de relación de eficiencia energética (REE) en acondicionadores de aire tipo dividido..	64
Tabla 4.1. Potencias demandadas por el sistema de iluminación.	65
Tabla 4.2 Potencias demandadas por el sistema de aire acondicionado.	66
Tabla 4.3 Potencias demandadas y factor de potencia del sistema actual..	66
Tabla 4.4 Horario de verano.	67
Tabla 4.5. Horario de invierno.	67
Tabla 4.6. Tarifas por periodo y mes correspondientes al año 2015.....	67
Tabla 4.7. Costo calculado del consumo mensual y anual para el año 2015.....	68
Tabla 4.8 Eficacia del sistema de iluminación.....	69
Tabla 4.9 Potencias demandadas por el sistema de iluminación.	71
Tabla 4.10. Potencias demandadas por el sistema de aire acondicionado.	71
Tabla 4.11. Potencias demandadas y factor de potencia del sistema propuesto.	71
Tabla 4.12 Costo calculado del consumo mensual y anual para el año 2015.....	72
Tabla 4.13 Eficacia del sistema de iluminación propuesto.	72
Tabla 4.14 Inversión por concepto de colocación de plafón y mano de obra.....	73
Tabla 4.15 Costo por concepto de mano de obra.....	73
Tabla 4.16 Precio unitario de cada luminaria.	74
Tabla 4.17 Comparación de la DPEA obtenida con el sistema de iluminación actual y propuesto.	77
Tabla 4.18 Comparación de la DPEA obtenida con el sistema de iluminación actual y propuesto en las áreas exteriores.	77
Tabla 4.19 Reducción del DPEA en porciento.....	77
Tabla 4.20 Eficacia de los sistemas de iluminación.....	77
Tabla 4.21 Carga eléctrica instalada.....	78
Tabla 4.22 Consumo eléctrico anual.....	78
Tabla 4.23 Ahorro monetario porcentual.....	78

Índice de figuras.

Figura 1.1 Espectro electromagnético.	11
Figura 1.2 Reflexión difusa.	12
Figura 1.3 Reflexión mixta.	12
Figura 1.4 Reflexión especular.	12
Figura 1.5 Refracción.	12
Figura 1.6 Transmisión difusa.	13
Figura 1.7 Transmisión mixta.	13
Figura 1.8 Transmisión regular.	13
Figura 1.9 Angulo sólido.	15
Figura 1.10 Ley inversa de los cuadrados.	16
Figura 1.11 Luminancia.	16
Figura 1.12 Elementos de una lámpara incandescente.	18
Figura 1.13 Lámpara halógena con reflector dicróico.	18
Figura 1.14 Tubo Fluorescente.	20
Figura 1.15 Primer sistema.	23
Figura 1.16 Segundo sistema.	24
Figura 1.17 Clasificación de luminarios según la CIE.	25
Figura 1.18 Clasificación de luminarios según sus planos de simetría.	25
Figura 1.19 Sensor de presencia.	26
Figura 1.20 Temporizador.	27
Figura 1.21 Métodos de alumbrado.	28
Figura 1.22 Ejemplo de obtención de coeficiente de utilización.	29
Figura 2.1 Localización del CEPE en la CU.	38
Figura 2.2 Orientación de las edificaciones existentes en el CEPE.	39
Figura 2.3 Simulación del salón 12.	50
Figura 2.4 Niveles de iluminación en el salón 12.	50
Figura 2.5 Simulación de la sala de cómputo.	51
Figura 2.6 Niveles de iluminación en la sala de cómputo.	51

Figura 2.7 Superficies de cálculo en escaleras.....	52
Figura 2.8 Iluminancia promedio en la superficie 2.....	53
Figura 2.9 Iluminancia promedio en la superficie 3.....	53
Figura 2.10 Iluminancia promedio en la superficie 1.....	53
Figura 2.11. Superficies utilizadas para el cálculo de iluminancias y deslumbramiento.	53
Figura 2.12 Niveles de iluminación promedio en el área de butacas.	54
Figura 2.13 Simulación de los baños de mujeres.....	54
Figura 2.14 Iluminancias promedio en los baños.	55

Índice de gráficos.

Gráfico 2.1 Tecnologías luminosas existentes en el edificio A.....	41
Gráfico 2.2 Tecnologías luminosas existentes en el edificio B.....	41
Gráfico 2.3 Tecnologías luminosas existentes en el edificio D.	41
Gráfico 2.4 Tecnologías luminosas existentes en CEPE.	41
Gráfico 4.1 Tiempo de recuperación simple de la inversión..	75
Gráfico 4.3 Tecnologías luminosas actuales y propuestas.....	76
Gráfico 4.2 Tipos de lámparas actuales y propuestas.....	76
Gráfico 4.4 Cumplimiento de normatividad del sistema actual.	76
Gráfico 4.5 Cumplimiento de normatividad del sistema propuesto.	76
Gráfico 4.6 Comparativa de eficacia.	77
Gráfico 4.7 Reducción en la carga instalada de iluminación y aire acondicionado.	78
Gráfico 4.8 Reducción en la carga eléctrica instalada.	78
Gráfico 4.9 Comparación de la reducción de costo eléctrico mes con mes.	78

Objetivo.

La presente tesis tiene como objetivo general, la reducción del uso y consumo de energía en el Centro de Enseñanza Para Extranjeros, "CEPE", mediante la propuesta de un nuevo sistema de iluminación y aire acondicionado bajo normativa y estándares vigentes.

Los objetivos específicos son: analizar el sistema de iluminación y aire acondicionado actual del CEPE. Proponer medidas de ahorro de energía, realizar la evaluación económica y técnica de las propuestas y, en congruencia con las demandas ecológicas actuales, reducir la emisión anual de gases invernadero de ésta institución.

Introducción.

De acuerdo con la Secretaria de Energía (SENER), se denomina eficiencia energética a todas aquellas acciones que conllevan a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que requiere la sociedad, asegurando un nivel de calidad superior y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía ¹.

Un buen sistema de iluminación debe proporcionar la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollan los trabajadores². Niveles de iluminación no adecuados pueden conllevar a la fatiga ocular, la disminución de la capacidad visual y el aumento de accidentes.

En el primer capítulo de éste trabajo, se describen conceptos básicos de iluminación y aire acondicionado. En seguida, en el capítulo dos, se calculan los Niveles de iluminación, las Densidades de Potencia Eléctrica de Alumbrado para el sistema de iluminación actual y propuesto. En el caso del sistema propuesto, se incluyen algunas de las simulaciones en el software DIALUX. Se propone también un nuevo sistema de control de iluminación.

En el tercer capítulo se analizan los sistemas de aire acondicionado, el actual y el propuesto. Se obtienen las cargas térmicas generadas por diferentes elementos y las simulaciones de los dos sistemas con ayuda del software REVIT. Al final del capítulo y para un mayor ahorro energético, se propone un control del sistema propuesto.

En el penúltimo capítulo, el cuarto, se obtiene la carga eléctrica instalada tomando en cuenta los sistemas de iluminación y aire acondicionado en conjunto. A partir de allí es posible saber la eficacia, los gases de efecto invernadero generados, el consumo y costo eléctrico y haciendo la comparación entre los parámetros anteriores de los sistemas actuales y propuestos es posible saber el ahorro energético.

Al final de la tesis, se hace una comparación y el análisis técnico de los objetivos alcanzados y los resultados obtenidos.

¹ Secretaria de Energía, SENER.

² STPS. NOM 025 STPS 2008. Primera sección Pg.2.

Capítulo 1 Conceptos básicos

1.1 Conceptos básicos de Iluminación

1.2 La luz

La luz es un segmento de una manifestación de energía llamada radiación electromagnética. Es capaz de excitar la retina del ojo y crear una sensación visual.

La energía visible es una porción sumamente pequeña del espectro electromagnético, y comprende las longitudes de onda entre los 380 nm y los 770 nm.

Tipo de radiación	Longitudes de onda (nm)
Violeta	380-436
Azul	436-495
Verde	495-566
Amarillo	566-589
Naranja	589-627
Rojo	627-770

Tabla 1.1 Longitudes de onda de la luz visible
García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

1.2.1 El espectro electromagnético

El espectro electromagnético es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles (Fig. 1.1).

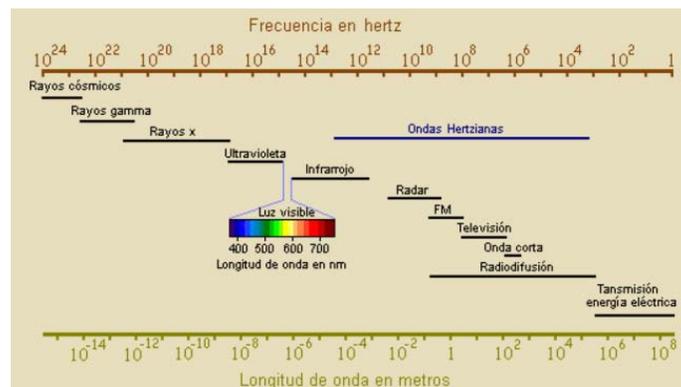


Figura 1.1 Espectro electromagnético.
García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

1.2.2 Propiedades de la luz

La luz tiene diferentes propiedades entre las que se encuentran: Reflexión, Transmisión, Refracción y Absorción.

- **Reflexión**

Se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes. La dirección en que es reflejada la luz está determinada por el tipo de superficie. Existen tres tipos de reflexión:

1-. Reflexión especular (Fig.1.2): Este tipo de reflexión se produce cuando el rayo incide en una superficie lisa. Obedece dos leyes fundamentales:

- El rayo incidente, el reflejado y el normal a la superficie en un punto de incidencia se trazan en un mismo plano.
- El ángulo de incidencia (i) es igual al ángulo de reflexión (r) (Principio de Fermat).

2-. Reflexión difusa (Fig. 1.3): Se produce cuando la luz incide en superficies mate. El rayo es entonces, reflejado en todas direcciones.

3-. Reflexión mixta (Fig. 1.4): Se trata del caso intermedio entre los dos tipos de reflexión anterior. Una parte del haz incidente se refleja y la otra parte se difunde. En este caso, una de las direcciones tiende a predominar. Este tipo de reflexión se da en superficies no pulidas o irregulares.

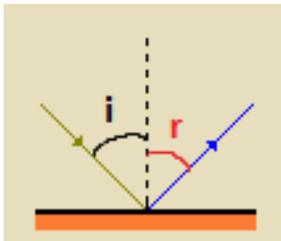


Figura 1.4 Reflexión especular.

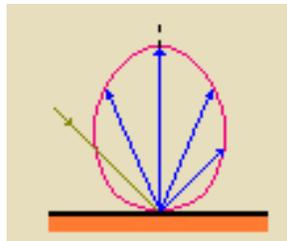


Figura 1.2 Reflexión difusa.

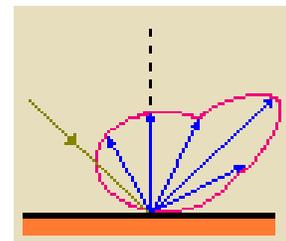


Figura 1.3 Reflexión mixta.

García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

- **Refracción**

Se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios diferentes. (Fig. 1.5)

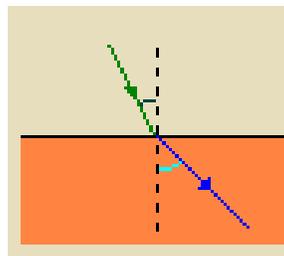


Figura 1.5 Refracción

García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/>

- **Transmisión**

La transmisión ocurre cuando la luz atraviesa una superficie u objeto. Existen 3 tipos de transmisión: regular, difusa y mixta.

1-. Transmisión Regular: Si después de transmitido, el rayo no se desvía de su trayectoria se dice que la transmisión es regular tal como sucede en los vidrios transparentes (Fig. 1.6).

2-. Transmisión Difusa: Si el rayo transmitido se difunde en todas direcciones sabremos que se trata de transmisión difusa. Este tipo de transmisión se presenta en materiales como los vidrios traslucidos. (Fig. 1.7)

3-. Transmisión mixta: Cuando se difunde en todas direcciones y una de ellas presenta predominancia, decimos entonces que la transmisión es de tipo mixta (Fig. 1.8).

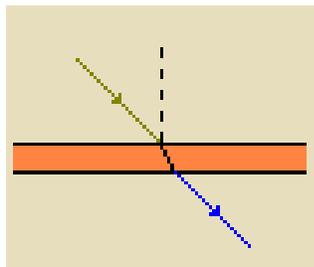


Figura 1.8 Transmisión regular.

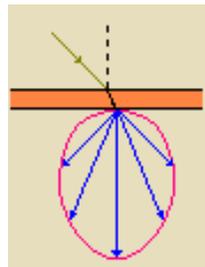


Figura 1.6 Transmisión difusa.

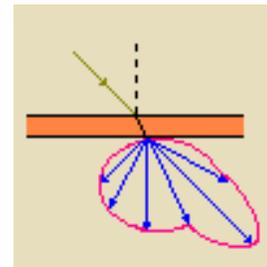


Figura 1.7 Transmisión mixta.

García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/>

- **Absorción**

Cuando la luz blanca choca con un objeto, una parte de los colores que la componen son absorbidos por la superficie y el resto son reflejados. Las componentes reflejadas son las que determinan el color que percibimos. Si las refleja todas, es blanco y si las absorbe todas, es negro.

1.3 El color

1.3.1 Atributos del color

El color es una interpretación subjetiva psicofisiológica del espectro electromagnético visible. La evaluación subjetiva de las superficies tal y como son perceptibles por el ojo, se interpretan en función de los atributos o cualidades del color. Estas son:

- a) Claridad o Esplendor: Radiación luminosa que recibimos según la iluminancia que posee el objeto. Un objeto es más claro cuanto más se aleja su color del negro en la escala de grises. Hace referencia a la intensidad
- b) Tono o matiz: Nombre común del color. Hace referencia a la longitud de onda.
- c) Pureza o saturación: Es la proporción en que un color está mezclado con el blanco.

1.3.2 Temperatura del color

La temperatura del color es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz comparándola con el color del cuerpo negro.

Tomando como ejemplo el color de la llama de una vela, su color es similar al de un cuerpo negro calentado a unos 1800 K, y la llama se dice entonces, que tiene una temperatura de color de 1800 K.

En las lámparas, se definen tres grados de apariencia según la tonalidad de la luz: luz fría, luz neutra y luz cálida (Tabla 1.2).

Temperatura de color correlacionada	Apariencia de color
$T_c > 5000 \text{ K}$	Fría
$3,300 \text{ K} \leq T_c \leq 5,000 \text{ K}$	Neutra
$T_c < 3,300 \text{ K}$	Cálida

Tabla 1.2 Temperatura de color en lámparas.
García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

1.3.3 Índice de rendimiento de color (IRC)

El IRC, determina la capacidad de la fuente de luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia.

Mientras más alto sea este valor, mejor será la reproducción del color, aunque a costa de sacrificar la eficiencia y consumo energéticos.

1.4 Unidades de medición

1.4.1 Flujo radiante

Es la energía que transportan las ondas por unidad de tiempo y que se propaga a través de una superficie de área dada.

1.4.2 Flujo luminoso

Se define al flujo luminoso como la cantidad de luz emitida en un segundo, en todas las direcciones. De manera más precisa, flujo luminoso de una fuente es la energía radiada que recibe el ojo humano y que transforma en luz durante un segundo.

De esta manera, el flujo luminoso es un promedio ponderado del flujo radiante en el espectro visible. Esta ponderado de manera promedio, porque el ojo humano no responde de igual manera a todas las longitudes de onda visibles.

El flujo luminoso se representa por la letra griega ϕ y su unidad es el lumen (lm). El lumen es en sí, una unidad que relaciona el flujo radiante y la radiación visible para el ojo humano³.

1.4.3 Eficacia luminosa

La eficacia luminosa de una fuente de luz es la relación entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica consumida. Su ecuación es la siguiente:

$$\varepsilon = \frac{\phi \text{ (lm)}}{P \text{ (W)}} \quad (1.1)$$

Donde:

ε = Eficacia luminosa (lm/w).

ϕ = Flujo luminoso (lm).

P = potencia eléctrica consumida (W).

1.4.4 Intensidad luminosa

Se conoce como intensidad luminosa al flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección. Su símbolo es I y su unidad es la candela (cd). Su ecuación se define como:

$$I = \frac{\phi \text{ (lm)}}{w \text{ (sr)}} \quad (1.2)$$

Donde:

ϕ = Flujo luminoso (lm).

w = unidad de ángulo sólido (sr).

Un ángulo sólido es el ángulo espacial que abarca un objeto visto desde un punto dado. Su unidad es el estereorradián.

Para calcularlo, se proyecta una esfera de radio R conocido cuyo centro 'O' coincida con el punto de vista. En seguida se forma un cono con vértice en 'O' y cuyas generatrices pasen por el contorno del objeto (Véase Fig. 1.9).

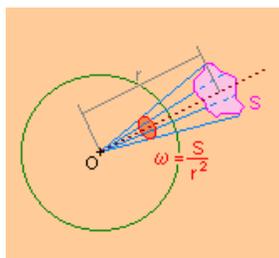


Figura 1.9 Ángulo sólido.

García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

³ IESNA. The IESNA lightning handbook, pp.14.

1.4.5 Iluminancia

Según el S.I., el lux se define como la iluminancia de una superficie que recibe un flujo luminoso de un lumen, repartido sobre un metro cuadrado de superficie⁴. Se representa por la letra E y su unidad es el lux. Sus unidades y formula son las siguientes:

$$E (lx) = \frac{\phi (lm)}{S (m^2)} \quad (1.3)$$

Donde:

ϕ = Flujo luminoso (lm).

S = Superficie (m²).

E = Iluminancia (lx).

1.4.6 Ley inversa de los cuadrados

Esta ley establece que la Iluminancia E en un punto sobre una superficie varia directamente con la intensidad luminosa de la fuente e inversamente con el cuadrado de la distancia 'd' entre la fuente y el punto (Véase Figura 1.10).

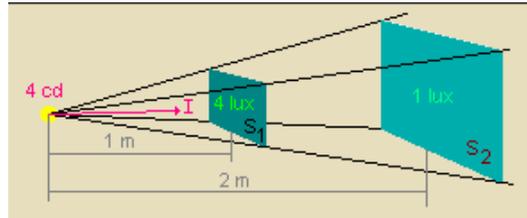


Figura 1.10 Ley inversa de los cuadrados

García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

Esta ley sólo es válida si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular.

$$E (lx) = \frac{I (cd)}{d^2 (m^2)} \quad (1.4)$$

1.4.7 Luminancia

Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Se trata del efecto visual que la iluminación produce. Indica también la cantidad de luz procedente de un objeto iluminado que el ojo humano percibe desde un punto de vista (Fig.1.11).

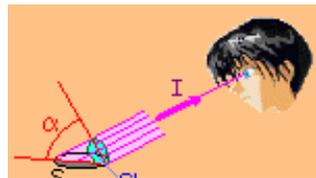


Figura 1.11 Luminancia

García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

⁴ Indalux. Manual de iluminación, pp.37.

El área proyectada o aparente se calcula multiplicando la superficie real iluminada S por el coseno del ángulo que forma su normal con la dirección de la intensidad luminosa.

Sus unidades y formula son las siguientes:

$$L (nt) = \frac{I (cd)}{S * \cos \alpha (m^2)} \quad (1.5)$$

Donde:

L = Luminancia (ni)

I = Intensidad luminosa (cd).

S = Superficie real iluminada (m^2).

$\cos \alpha$ = coseno del ángulo que forma la normal con la dirección de la intensidad luminosa

1.4.8 Lámpara

La lámpara es el elemento del sistema de iluminación, que tiene como finalidad transformar la energía eléctrica que recibe el sistema de iluminación en energía luminosa.

1.4.9 Vida nominal de la lámpara

Se define como el tiempo transcurrido hasta que falla el 50% de los elementos de un lote representativo de una población de lámparas, trabajando bajo condiciones ideales de operación.

Este dato es el que aparece en los catálogos de los fabricantes.

1.4.10 Depreciación del flujo luminoso

Es un proceso natural de envejecimiento que sufren todas las lámparas. Se establece como el cociente de los lúmenes que entrega la lámpara al 70% de su vida nominal y los lúmenes nominales.

1.4.11 Factor de mantenimiento (fm)

En términos generales se pueden establecer los factores de mantenimiento que aparecen en la tabla 3. Éste factor se obtiene por multiplicación de tres factores: depreciación del flujo de la lámpara, depreciación de la luminaria y depreciación de la superficie de la habitación.

Ambiente de trabajo	Factor de mantenimiento
Fundiciones, Acerías	0.65
Industrias de soldadura, mecanizado	0.70
Oficinas industriales, salas	0.75
Patios de operaciones, locales públicos	0.80
Despachos, oficinas comerciales, informáticas	0.85

Tabla 1.3 Factor de mantenimiento
Indalux Iluminación Técnica S.L. (2002). Manual de Luminotecnia Indalux.

1.5 Tecnologías disponibles en fuentes luminosas.

1.5.1 Lámparas incandescentes

Es la fuente de luz eléctrica más antigua. Este tipo de lámpara se compone de un filamento de alambre encerrado en un bulbo relleno de determinado gas. Al aplicársele voltaje a la lámpara, la corriente que circula por el filamento eleva la temperatura de éste hasta el punto de incandescencia, emitiéndose energía radiante.

Desafortunadamente, de esta energía entre el 90 y 95% se disipa al medio en forma de calor y un mínimo porcentaje se convierte en luz⁵.

A pesar de lo anterior, el uso de lámparas incandescentes es indispensable debido a que presentan cualidades como: alto IRC, no requieren balastro y operan con un factor de potencia unitario.

Los elementos principales que componen a una lámpara incandescente son el filamento, los soportes del filamento, el bulbo, el gas de relleno y el casquillo (Fig. 1.12).

Existen diferentes tipos de lámparas incandescentes:

- Incandescentes que no utilizan gases halógenos
 - * Lámpara estándar
 - * Lámpara de vela
 - * Lámpara de globo
 - * Lámpara reflectora
- Incandescentes que utilizan gases halógenos

Este grupo conocido como halógenas, es el que utiliza gases halógenos de relleno (argón, xenón, radón y kriptón), que disminuyen el fenómeno de evaporización del filamento, ya que el gas halógeno hace que las partículas evaporizadas de wolframio o tungsteno vuelvan a depositarse sobre el filamento. Dentro de las halógenas tenemos las siguientes:

- * Halógenas con reflector metálico
- * Halógenas con reflector dicróico (Fig. 1.13)
- * Halógenas de vela y de globo

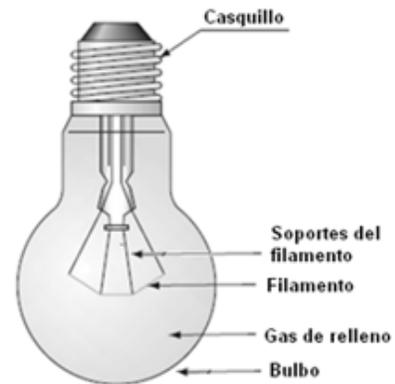


Figura 1.12 Elementos de una lámpara incandescente.



Figura 1.13 Lámpara halógena con reflector dicróico.

⁵ Introducción al ahorro de energía en sistemas de iluminación interior, pp.16

1.5.2 Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son lámparas de descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión y un gas inerte cuyo efecto luminoso se basa en el fenómeno de fluorescencia.

La fluorescencia es una propiedad que poseen determinadas sustancias en virtud de la cual transforman las radiaciones no visibles que inciden sobre ellas, generalmente ultravioletas, en radiaciones visibles.

- Lámpara fluorescente lineal

La lámpara fluorescente consta de un tubo cerrado de vidrio, dos cátodos, uno en cada extremo, un gas noble, dos bases, un recubrimiento interior de halofosfatos o tierras raras. Es importante hacer notar que estas lámparas requieren de un balastro para su funcionamiento.

* Componentes:

- Tubo de descarga: Es un tubo cilíndrico que aísla los electrodos y el gas de relleno del medio ambiente. Suele ser de cristal o cuarzo y su cara interna va recubierta de una capa de polvos fluorescentes. Los tipos de tubo recto pueden ser tubular 'T', circular 'C' o en forma de 'U'.

La letra se utiliza delante del número para indicar que el foco fluorescente es de tipo tubo, circular o u. Seguido de la letra, se encuentra el número que indica el diámetro del tubo medido en fracciones de 1 pulgada (2,5 cm). El diámetro de los tubos fluorescentes está medido en octavos de pulgada. Por ejemplo, un tubo T5 tiene un diámetro de 5/8 de pulgada (1,62 cm).

- Electrodos: Los electrodos o filamentos son de hilo de tungsteno, enrollados en doble o triple espiral, y están recubiertos por sustancias que emiten gran cantidad de electrones, por lo general bario o cesio.

Cuando se les aplica una tensión eléctrica, el paso de corriente eléctrica provoca su calentamiento y en consecuencia, la emisión de electrones.

- Gas de relleno: Suele ser uno fácilmente ionizable e inerte, como el argón o neón. Se añade una pequeña cantidad de mercurio. Como el argón es muy ionizable, la primera descarga tiene lugar a través de él, de modo que genera una temperatura suficiente para vaporizar el mercurio.
- Polvos fluorescentes: Son los que transforman la luz no visible en visible, Ejemplo de éstos son: Holofosfatos de calcio, Silicato de calcio, Tungstato de magnesio.

* Funcionamiento

Al encender el interruptor, la corriente eléctrica viaja hasta el balastro, el cual regula la corriente y manda la necesaria a la lámpara para su adecuado y seguro uso además de aumentar la frecuencia hasta 20 kHz.

Cuando uno de los cátodos se calienta, empieza a emitir electrones a lo largo del tubo en dirección al otro cátodo, estableciendo un flujo de corriente. En estas condiciones, el mercurio

comienza a evaporarse y, gracias a los electrones emitidos por los cátodos, se ioniza y al desprenderse del exceso de energía, emite un fotón de radiación ultravioleta.

La radiación ultravioleta se convierte en luz visible gracias a los polvos que recubren el interior del tubo.

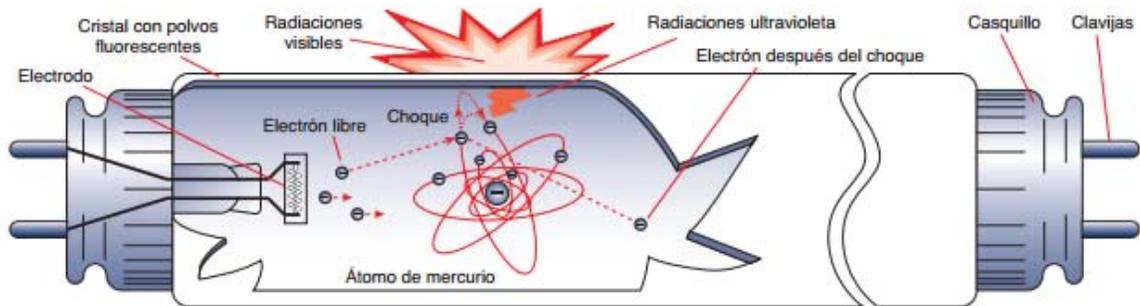


Figura 1.14 Tubo Fluorescente
Marrufó E. (2004). Instalaciones eléctricas interiores. Mc. Graw-Hill

1.5.2.1 Balastos para lámparas fluorescentes

Los balastos son dispositivos empleados para limitar y estabilizar la corriente de arco de las lámparas de descarga. Pueden ser electromagnéticos o electrónicos y generalmente se clasifican de acuerdo a su tipo de encendido. A través de la historia, la mayoría de los balastos han sido electromagnéticos pero en la actualidad los que ofrecen mejor rendimiento y ahorro eléctrico son los balastos electrónicos.

* Balastos electromagnéticos:

El balastro electromagnético consiste básicamente de un núcleo de láminas de acero rodeadas por dos bobinas de cobre o aluminio (reactancia). Éste transformador limita la corriente, genera el arco eléctrico para el encendido de la lámpara. Otro componente principal de estos balastos, es el capacitor. El balastro optimiza el factor de potencia.

Los tipos de balastro electromagnético son:

- * Balastos de encendido rápido, con precalentamiento de electrodos, utilizado en los tubos de arranque rápido. El calentamiento de los electrodos proviene del propio balastro y existe además una ayuda al encendido, consiste en una banda metálica externa conectada a uno de los electrodos, que juega el papel de electrodo auxiliar.
- * Balastos de encendido por precalentamiento: El cebador (arrancador), situado en paralelo con el tubo, provoca el precalentamiento de los electrodos dentro de él. Después de entre 3 y 4 segundos el arrancador queda abierto y se genera un pico de tensión que inicia el arco eléctrico entre los electrodos que ya están calientes y listos para iniciar la operación de la lámpara. A partir de ese momento y hasta el

apagado de la lámpara, el balastro proporciona la corriente necesaria para el funcionamiento de la lámpara.

- * Balastos de encendido instantáneo: Los balastos de encendido instantáneo están diseñados para operar lámparas SLIMLINE; Estas lámparas no requieren calentamiento previo por lo que no se utiliza arrancador, pero se requiere una mayor tensión en el encendido.

- Balastos electrónicos

En casi todos los sistemas fluorescentes se pueden emplear los balastos electrónicos en lugar de los electromagnéticos. Los balastos electrónicos mejoran la eficiencia del sistema convirtiendo la frecuencia de entrada de 60 Hz en una frecuencia más alta, por lo general entre 20 y 50 kHz.

Las lámparas cuando operan a estas frecuencias, producen el mismo flujo luminoso que un balastro electromagnético pero con un consumo entre 12 y 25 % menos de energía. El ahorro de energía se puede incrementar hasta en 40% si se combina un balastro electrónico con una lámpara fluorescente de trifósforo (recubrimiento mejorado).

Las principales ventajas de los balastos electrónicos son:

- * Incremento del flujo luminoso. Debido a su funcionamiento en alta frecuencia, se incrementa el flujo luminoso llegando hasta el 110% con respecto a un balastro operado a 60 Hz, el valor de 110% se presenta entre 40 y 50 kHz permaneciendo constante después de esta frecuencia.
- * Eliminación del parpadeo. Los cruces por cero de la señal de corriente son en un tiempo tan corto que no puede ser percibido por el ojo humano
- * Alto factor de potencia. Mayor a 0.9.

- Parámetros de rendimiento

- * Factor de balastro

El Factor de balastro, FB, es la potencia útil que el balastro entrega al tubo, dividida por la potencia nominal del tubo. Por ejemplo, un balastro que tenga un factor de balastro de 0.85 dará como resultado una emisión de la lámpara del 85% de su flujo luminoso nominal.

- * Factor de eficacia del balastro

Es la relación entre el factor de balastro en por ciento y la potencia de entrada al balastro también denominada potencia de línea.

$$BEF = FB / P (W) \quad (1.6)$$

Donde:

FB = Factor de balastro en por ciento.

P = Potencia de entrada al balastro (W).

* Factor de potencia

Como Factor de potencia se entiende la medida del porcentaje de la potencia eléctrica total absorbida por todos los equipos eléctricos y que es aprovechada para generar un trabajo determinado, y/o producir su calentamiento. A mayor factor de potencia, menor es la cantidad de energía reactiva consumida.

A nivel industrial y comercial, debido a que la energía reactiva es mucho más costosa que la activa, se debe buscar que el consumo de reactiva sea lo más bajo posible, es decir, garantizar que el FP de los balastos a instalar sea lo más cercano al 100%, lo que implicará ahorrar mucho dinero.

$$FP = P (W) / II * VI \quad (1.7)$$

Donde:

P = Potencia de entrada (W).

II = Corriente de línea (A).

VI = Voltaje de línea (V).

* Distorsión armónica

La distorsión armónica es causada por varios dispositivos electrónicos utilizados en oficinas o en la industria, como por ejemplo: fax, computadoras, impresoras. Estos dispositivos distorsionan la señal senoidal de corriente y voltaje en los circuitos eléctricos.

Gracias a ella, corrientes transitorias son producidas, algunas de las cuales contribuyen al incremento de la corriente que circula por el neutro en un sistema trifásico de 4 conductores. La distorsión armónica también produce calentamiento excesivo en equipos electrónicos, disparos en falso de dispositivos de protección y caída de tensión.

Debido a que las corrientes armónicas no son útiles para el sistema de iluminación, estas pueden contribuir a la reducción del factor de potencia.

1.5.3 Lámparas LED

En los últimos años el sector de la iluminación ha experimentado un gran avance gracias a la aparición de aplicaciones cada vez más eficientes basadas en la tecnología LED.

El punto más destacable de la tecnología LED es la eficacia luminosa que actualmente se sitúa en los 100 lm/W ⁶.

Un LED (light emitting diode) es un dispositivo semiconductor unido a dos terminales (ánodo y cátodo) que cuando circula corriente eléctrica produce un efecto llamado electroluminiscencia.

⁶ Guía sobre tecnología LED en alumbrado, Consejería de Economía y Hacienda, Comunidad de Madrid.

Comparados con las fuentes de luz convencionales, la tecnología LED presenta numerosas ventajas entre las que se pueden destacar:

- * Tamaño reducido ajustándose así a una multitud de aplicaciones
- * Alta resistencia contra golpes
- * Larga vida útil.
- * Alta eficiencia en los colores.

La luz que emite el LED puede variar según el compuesto con el que se recubre dicho LED. Éstos compuestos realizan la misma función que el recubrimiento del fósforo en una lámpara fluorescente. En la tabla 1.4 se mencionan los elementos y el color que emiten.

Compuesto	Color
Arseniuro de galio	Infrarrojo
Arseniuro de galio y Aluminio	Rojo e Infrarrojo
Arseniuro de fósforo de Galio	Rojo, anaranjado y amarillo
Fósforo de galio	Verde
Nitruro de galio	Verde
Seleniuro de zinc	Azul
Nitruro de galio e Indio	Azul
Carburo de silicio	Azul
Diamante	Ultravioleta

Tabla 1.4 Color de los LED de acuerdo a sus compuestos.
FENERCOM (2015). Guía sobre tecnología LED en el alumbrado.

No existe material de LED que pueda generar luz blanca directamente, la luz blanca se consigue mezclando varios colores únicos, existen dos formas de conseguir esta luz blanca.

- Primer sistema: Utilizando a la vez diferentes tipos de LED monocromáticos (rojo, verde y azul) cuya suma resultante es una emisión de luz blanca. Este método se ha descartado no sólo por su coste sino porque el IRC obtenido es muy pobre (Fig. 1.15).



Figura 1.15 Primer sistema.
FENERCOM (2015). Guía sobre tecnología LED en el alumbrado.

- Segundo sistema: En éste sistema, se utiliza un solo chip azul con un recubrimiento de fósforo amarillo, exactamente como se hace con la fluorescencia (Fig. 1.16).



Figura 1.16 Segundo sistema.
FENERCOM (2015). Guía sobre tecnología LED en el alumbrado.

1.6 Luminarios

Un luminario es un dispositivo para controlar y distribuir la luz, así como para proteger algunos elementos del sistema de iluminación. Está compuesto de los siguientes elementos: una o más lámparas, componentes ópticos diseñados para la distribución de luz, bases para soportar y conectar las lámparas, y componentes mecánicos necesarios para sujetar el luminario.

1.6.1 Componentes de los luminarios

La mayoría de las lámparas emiten luz virtualmente en todas direcciones y para una eficiente aplicación se requieren componentes para concentrar y distribuir la luz. Los principales componentes para el control de luz son los siguientes:

- * Reflector. Dispositivo usualmente cubierto de metal o plástico, el cual tiene alta reflectancia y está formado para reflejar la luz emitida por la lámpara. El terminado de la superficie del reflector del luminario usualmente se clasifica como especular, semiespecular, extendido o difuso.
- * Refractores. Los refractores son elementos para el control de la luz, los cuales se encargan de cambiar la dirección de la luz aprovechando el fenómeno de la refracción.
- * Difusores. Estos elementos se encargan de dispersar en varias direcciones la luz incidente. La dispersión puede llevarse a cabo en el material, como por ejemplo en acrílico o en la superficie si el material es vidrio grabado. Los difusores se utilizan también para reducir la luminancia. Los difusores más comunes son lentes prismáticos claros, los cuales usan el principio de la refracción para producir la distribución de luz deseada hacia abajo y los difusores translucidos, los cuales difunden la luz en todas direcciones hacia abajo, en lugar de dirigirlas a zonas particulares. Los difusores translucidos son obsoletos para espacios comerciales modernos debido que la luz es absorbida por el material translucido teniendo como consecuencia que la eficiencia del luminario este por debajo del 40%.
- * Deflectores y rejillas. Los deflectores son elementos simples, usualmente en forma de V. Las rejillas (Louver) son un grupo de deflectores verticales que bloquean la vista de la lámpara y a su vez dirigen la luz fuera de la lámpara.

1.6.2 Eficiencia de un luminario

La eficiencia de un luminario se define como el porcentaje de la luz producida por el luminario del total producido por la lámpara. Por ejemplo si se tienen dos luminarios distintos, para el mismo tipo de lámpara y mismos balastos, el luminario de mayor eficiencia será el que emita la mayor cantidad de luz.

1.6.3 Coeficiente de utilización

Se define como la relación entre el flujo luminoso que incide en el plano de trabajo y el flujo luminoso total emitido por la fuente. El coeficiente de utilización toma en cuenta la eficiencia del luminario, la forma en que se distribuye la luz, la geometría del lugar, altura de montaje del luminario, plano de trabajo y reflectancia. El valor del coeficiente de utilización (CU) es publicado en los reportes fotométricos de los luminarios.

1.6.4 Clasificación

Las luminarias pueden clasificarse de muchas maneras aunque lo más común es utilizar criterios ópticos, mecánicos o eléctricos.

- Clasificación según las características ópticas de la lámpara

Una primera manera de clasificar las luminarias es según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz que ilumine hacia el techo o al suelo.

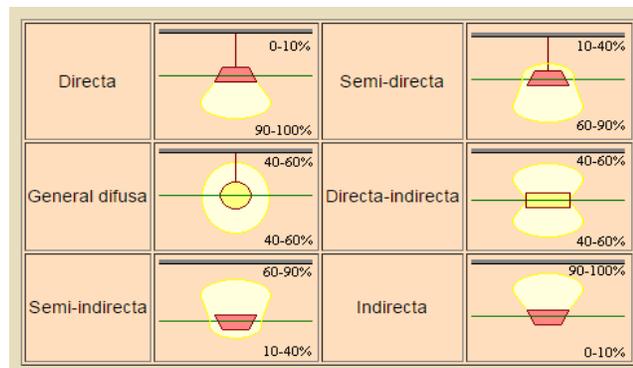


Figura 1.17 Clasificación de luminarios según la CIE.

García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

Otra clasificación posible es atendiendo al número de planos de simetría que tenga el sólido fotométrico.

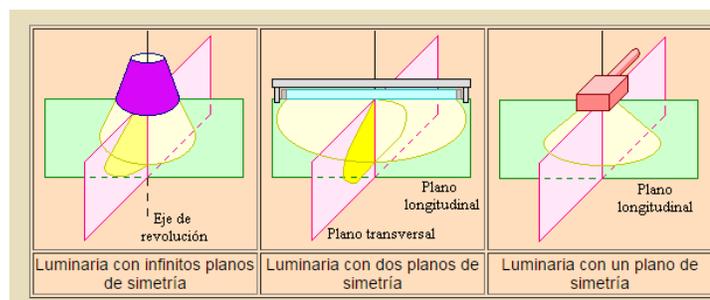


Figura 1.18 Clasificación de luminarios según sus planos de simetría.

García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

- Clasificación según las características mecánicas de la lámpara

El sistema IP (Protección Internacional) clasifica las luminarias de acuerdo con el grado de protección que poseen contra el ingreso de cuerpos extraños, polvo y humedad.

La designación para indicar los grados de protección consiste dos números. El primero de estos números es una indicación de la protección contra el ingreso de cuerpos extraños y polvo, mientras que el segundo número indica el grado de sellado para evitar el ingreso de agua.

1.7 Dispositivos de control para el alumbrado

- Apagadores

Un apagador se define como un interruptor pequeño de acción rápida, operación manual y baja capacidad que se usa, por lo general, para controlar aparatos pequeños domésticos y comerciales así como pequeñas unidades de alumbrado.

Los apagadores sencillos para instalaciones residenciales se fabrican para 127 V y corrientes de 15 Amperes. Es importante tener cuidado de no usar los apagadores para interrumpir corrientes mayores a su valor nominal.

- Atenuadores

Son dispositivos que permiten regular la energía que alimenta a una o varias lámparas, con el fin de variar la intensidad de la luz que emiten. Lo anterior queda supeditado a que la lámpara se pueda atenuar, es decir, lo permita.

- Sensores de presencia

Se trata de un dispositivo electrónico que controla el accionamiento de una instalación cuando en su radio de acción detecta un movimiento. Cuando se activa el detector, actúa como un interruptor temporizado regulable. Incorpora un ajuste para regular el tiempo de encendido del alumbrado al activarse y un ajuste de sensibilidad para actuar solo cuando el nivel de iluminación esté por debajo del umbral establecido.



Figura 1.19 Sensor de presencia.

Es idóneo para controlar el encendido del alumbrado en zonas de acceso en hoteles, baños y oficinas.

- Ultrasónicos

Estos sensores generan ondas de sonido de alta frecuencia. Permanecen activos emitiendo dichas ondas y supervisando los cambios en el tiempo de retorno de las ondas reflejadas. El movimiento en el campo de la onda de sonido ocasiona un cambio en la frecuencia de onda y el sensor responde mediante el encendido de las luces.

Resultan útiles en ubicaciones donde sólo se realizan cantidades mínimas de movimiento.

- Celdas fotosensibles

Las celdas fotosensibles son dispositivos que censan el nivel de iluminación natural para así poder tener un ajuste del nivel de iluminación de acuerdo a las condiciones del medio.

Dispone de una resistencia variable con la luz que, asociada a un sistema comparador, va midiendo la señal recibida por la resistencia y la compara con un valor prefijado en el interruptor. Dependiendo de dicho valor, abre o cierra sus contactos a través de un relé.

Con este tipo de control hay que tener precaución con el lugar y la orientación de instalación, de manera que no se vea afectada por el flujo luminoso producido por las lámparas que controla, ya que de lo contrario, provocaría su desactivación y la apertura del circuito.

- Temporizadores

Un temporizador es un aparato con el que podemos regular la conexión o desconexión de un circuito eléctrico después de que se ha programado un tiempo. Hay diversos tipos de temporizadores, cada uno sirve para algún proceso en específico: temporizador térmico, neumático y electrónico.

Los nuevos temporizadores digitales permiten una multitud de funciones. Su capacidad de memoria nos permite realizar maniobras por días, semanas o incluso meses. Así mismo, permiten hacer conexiones o desconexiones y pulsos de corriente de varios segundos para realizar maniobras en la instalación.



Figura 1.20 Temporizador.

1.8 Métodos de cálculo para iluminación en interiores.

Dentro de las condiciones necesarias para obtener una buena iluminación, se deben considerar tres factores fundamentales:

1. El nivel de iluminación adecuado a las características de los locales por iluminar y las actividades que se desarrollen.
2. Una distribución apropiada de la luz
3. El tipo de fuente luminosa y los aparatos de iluminación.

- Plano de trabajo

Se trata del lugar en donde se encuentran los objetos por observar. Normalmente el plano de trabajo se encuentra en un plano horizontal localizado entre 0.80 y 0.90 m sobre el nivel del suelo, sin embargo puede ser vertical u oblicuo.

- Nivel de iluminación

Se trata de la cantidad de flujo luminoso por unidad de área medido en un plano de trabajo. Se expresa en lúmenes

La NOM-025-STPS-2008, *Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*, es la norma mexicana que establece los niveles de iluminación requeridos de acuerdo con la tarea visual desarrollada.

- Densidad de potencia eléctrica de alumbrado (DPEA)

Se define como el índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción, se expresa en W/m^2 .

La NOM-007-ENER-2014, *Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales*, es la norma mexicana que establece los niveles máximos de densidad de potencia eléctrica de alumbrado de acuerdo al tipo de edificación.

1.8.1 Métodos de alumbrado

Los métodos de alumbrado nos indican cómo se reparte la luz en las zonas iluminadas. Según el grado de uniformidad deseado, distinguiremos tres casos: alumbrado general, alumbrado general localizado y alumbrado localizado.

- Alumbrado general

El alumbrado general proporciona una iluminación uniforme sobre toda el área iluminada. Se consigue distribuyendo las luminarias de forma regular por todo el techo del local

- Alumbrado Localizado

Proporciona una distribución no uniforme de la luz de manera que esta se concentra sobre las áreas de trabajo. Se consiguen así importantes ahorros energéticos puesto que la luz se concentra allá donde hace falta.

- Alumbrado suplementario

Empleamos el alumbrado localizado cuando necesitamos una iluminación suplementaria cerca de la tarea visual para realizar un trabajo concreto.

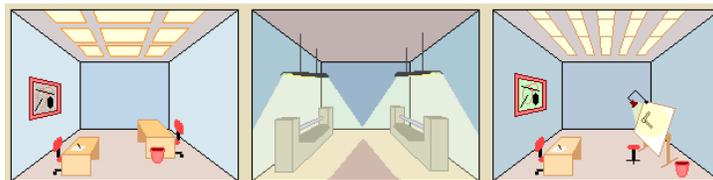


Figura 1.21 Métodos de alumbrado.
García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

1.8.2 Método de los lúmenes

Este método es utilizado para estimar el número de unidades de alumbrado para producir una iluminación promedio considerada en un local. Por lo tanto, para utilizar este método en la resolución del diseño de alumbrado de interiores, se debe tener en cuenta el siguiente procedimiento:

1. Obtener de la norma, el nivel de iluminación requerido según el tipo de actividad a realizar en el local (E).
2. Determinar la superficie del local (S) en metros cuadrados.

$$S = A * B \quad (1.8)$$

Donde A= ancho del local en metros; B=Largo del local en metros.

3. Calcular el índice del local.

El índice del local, toma en consideración el ancho (A) y largo del local (B), así como la altura de los luminarios sobre el plano de trabajo (H).

- Para una iluminación directa, semidirecta y mixta:

$$K = \frac{A*B}{H(A+B)} \quad (1.9)$$

- Para una iluminación semidirecta o indirecta:

$$K = \frac{3*A*B}{2*H*(A+B)} \quad (1.10)$$

4. Obtener el coeficiente de utilización (μ)

En seguida, debemos obtener los coeficientes de reflexión de las paredes, el techo y piso. Una vez hecho esto, utilizamos las tablas del fabricante para obtener el coeficiente de utilización. Lo anterior lo hacemos mediante un cruzamiento de las reflectancias con el índice del local (K).

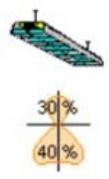
Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (%)												
		Factor de reflexión del techo						Factor de reflexión de las paredes						
		0.8		0.7		0.5		0.3		0				
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.22	.18	.16	.21	.18	.16	.20	.17	.15	.16	.15	.13	
	0.8	.29	.24	.21	.27	.24	.21	.25	.23	.20	.22	.19	.18	
	1.0	.33	.29	.26	.33	.29	.25	.31	.27	.24	.26	.23	.21	
	1.25	.39	.34	.31	.37	.33	.31	.35	.31	.29	.29	.26	.24	
	1.5	.43	.38	.35	.41	.36	.34	.38	.34	.32	.32	.30	.26	
	2.0	.48	.44	.40	.46	.42	.39	.41	.39	.35	.34	.33	.28	
	2.5	.51	.47	.44	.49	.45	.43	.44	.40	.39	.37	.35	.30	
	3.0	.53	.50	.46	.51	.47	.45	.46	.44	.41	.40	.38	.32	
	$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.57	.53	.51	.53	.51	.49	.48	.46	.45	.41	.40	.34
	$f_m: 65 70 75$	5.0	.59	.56	.54	.55	.53	.51	.49	.47	.46	.42	.41	.35

Figura 1.22 Ejemplo de obtención de coeficiente de utilización.
García J. (2016). Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

5. Obtener el factor de mantenimiento (fm)
6. Calcular número de luminarias requeridas:

$$N = E \cdot S / (\text{Lumenes} \cdot \text{luminario}) (\mu) (\text{fm})$$

7. Emplazamiento de luminarias

Una vez has calculado el número mínimo de luminarias necesarias, se procede a distribuirlas es decir, averiguar la distancia a la que deben ser instaladas para obtener una iluminación uniforme.

De esta manera, tenemos que el número de filas de luminarias a lo ancho del local se calcula por medio de:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{total}}}{b} \cdot a} \quad (1.10)$$

Y, que el número de columnas a lo largo del local se calcula por medio de:

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \cdot \left(\frac{b}{a}\right) \quad (1.11)$$

En el caso de luminarias fluorescentes es importante no sobrepasar el máximo de unidades por fila, que se define como:

$$N_{\text{max}} = \text{Longitud del local} - 1 / \text{Longitud de las luminarias}^7 \quad (1.12)$$

1.8.3 Método de cavidad zonal

El Método de Cavidad Zonal para el cálculo de niveles de iluminancia fue desarrollado por la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), para determinar los niveles de iluminación promedio proporcionado por los luminarios dentro de un espacio cerrado. Este método es preferido sobre otros no porque sea en todos los casos más exacto, sino porque es relativamente simple y flexible. Sus resultados son generalmente más representativos de un caso real y puede aplicarse a cualquier tipo de sistema de iluminación en locales regulares (rectangulares o cuadrados) o de formas especiales⁸.

El término “Cavidad Zonal” se deriva de la suposición de que el espacio está dividido en cavidades sobrepuestas (máximo tres) y considera el comportamiento de la luz en cada cavidad antes de que la luz alcance el plano de trabajo.

El procedimiento es el siguiente:

- Obtener de la norma, el nivel de iluminación requerido según el tipo de actividad a realizar en el local (E).

⁷ El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. pp 211.

⁸ Cálculo de iluminación de interiores, GENERTEK S.A DE C.V

1. Determinar la superficie del local (S) en metros cuadrados.

$$S = A * B$$

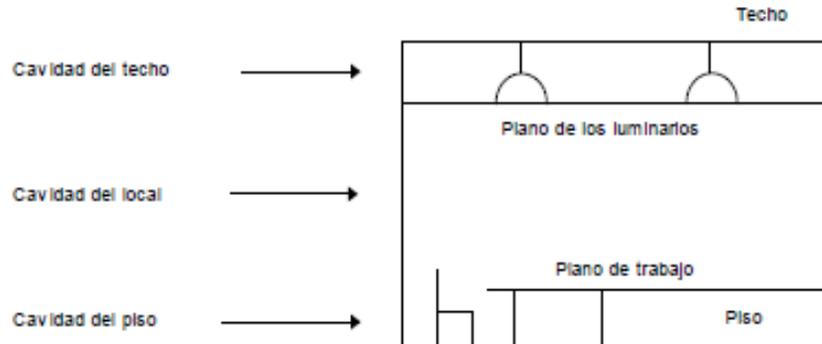
Donde A= ancho del local en metros; B=Largo del local en metros.

2. Determinación de las relaciones de cavidad

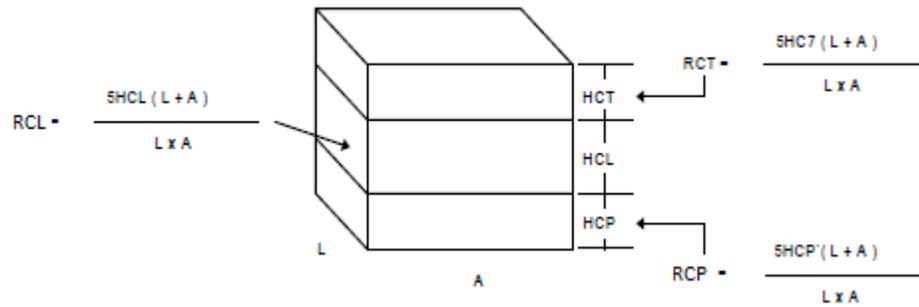
Supongamos un local rectangular dividido en tres cavidades horizontales, cada una limitada verticalmente por las paredes:

- (1) "Cavidad del Techo".- Es la distancia entre el techo y un plano imaginario en la cara inferior de los luminarios.
- (2) "Cavidad del Local".- Es la distancia entre el plano de los luminarios y un plano imaginario a la altura de las superficies de trabajo (escritorios, mesas, etc.).
- (3) La "Cavidad del Piso".- Es la distancia entre el plano de trabajo y el piso.

Dentro de estas cavidades, la luz interreflejada se comporta de una forma que depende de la relación de área vertical sobre horizontal; por lo tanto, el primer paso para determinar ese comportamiento implica la determinación de las relaciones de área vertical sobre área horizontal en cada una de las cavidades. Esas son llamadas "Relaciones de Cavidad" (RC).



Las relaciones de cavidad se calculan de la siguiente manera:



Dónde:

RCL= Relación de cavidad del local.

RCP= Relación de cavidad del piso.

RCT= Relación de cavidad del techo.

3. Determinación de las reflectancias efectivas de las cavidades

Cuando la luz sale del luminario lo hace en varias direcciones. Cualquier haz de luz “rebota” un número considerable de veces de una superficie a otra. Cada rebote causa algunas pérdidas (por absorción) y la dispersión posterior de la parte no absorbida en más rayos en muchas otras direcciones.

Este es el proceso de interreflexión que produce reflectancias en las cavidades, las cuales pueden diferir de las observadas en las superficies básicas (techo ó piso) de las cavidades respectivas. A éstas últimas las llamamos reflectancias efectivas de las cavidades.

4. Extracción del coeficiente de utilización

5. Calcular número de luminarias requeridas:

$$N = E \cdot S / (\text{Lumenes} \cdot \text{luminario}) \text{ (CU) (fm)} \quad (1.13)$$

1.9 Conceptos básicos de aire acondicionado.

En un término conciso el acondicionamiento de aire consiste en controlar la temperatura, humedad, pureza, presión, circulación y distribución del aire que tenemos en un espacio determinado.

Las condiciones a controlar varían dependiendo de la aplicación a la que va dirigida el acondicionamiento que puede ser solo el control de temperatura y flujo de aire, hasta sistemas en donde es necesario controlar todos los puntos anteriores mencionados.

Para la selección de un sistema de aire con calefacción o refrigeración se consideran factores como tamaño del área a acondicionar, superficie de paredes y ventanas y si tienen contacto directo con el exterior o no, materiales en la construcción, equipos y personas en el lugar. Esto nos ayudara al cálculo de la capacidad del equipo dependiendo de la temporada del año y condiciones de trabajo.

El aire contiene humedad, es decir, "vapor de agua disperso" en el aire, esta proporción se le denomina "humedad relativa" siendo el porcentaje de humedad en proporción a la cantidad total que el aire puede retener cuando está saturado. El punto de saturación dependerá de su temperatura. Cuando más caliente este el aire, tanta más humedad contendrá antes de estar saturado o de alcanzar el punto de rocío, en el cual el vapor de agua empieza a caer o desprenderse del aire.

En los meses de invierno el aire es frío y seco, teniendo una humedad relativa baja, secándose aún más a consecuencia del funcionamiento de la calefacción para aumentar la temperatura de aire. El añadir humedad al aire puede realizarse mediante equipos humidificadores los cuales agregar al aire agua mediante chorros de vapor de agua.

Para familiarizar los términos utilizados en el desarrollo de este trabajo se enlista a continuación los términos que serán utilizados.

1.9.1 Calor

El calor está definido como la forma de energía que se transfiere entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas, sin embargo en termodinámica generalmente el término calor significa simplemente transferencia de energía.

Este flujo de energía siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico

La energía puede ser transferida por diferentes mecanismos, estos son la radiación, la conducción y la convección, aunque en la mayoría de los procesos reales todos se encuentran presentes en mayor o menor grado. Cabe resaltar que los cuerpos no tienen calor, sino energía térmica.

1.9.2 Frio

Es simplemente la ausencia parcial del calor, ya que, aunque extraigamos la mayor parte del calor que contiene un cuerpo o espacio, no es posible quitarle por ninguno de los medios conocidos el calor natural.

La temperatura cero, en la escala centígrada, es la de la congelación del agua a nivel del mar, y la temperatura cero en la escala Fahrenheit es un punto que está a 32 F. sin embargo, el cero absoluto teórico está a -273 C aproximadamente 460 F por debajo de los ceros de las escalas correspondientes. Esta es la temperatura a la cual ya no existiría ningún movimiento de las moléculas de cualquier cuerpo o materia.

1.9.3 Medición de calor

La unidad de calor es la caloría (cal) que es la cantidad de calor necesario para elevar un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua. En el sistema ingles se emplea los BTU que por sus siglas en ingles es British Thermal United, que es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de masa de agua.

1.9.4 Calor sensible

Es el calor que se puede medir o sentir con algún instrumento y es este el que causa un cambio en la temperatura de una sustancia, pero no un cambio en el estado.

1.9.5 Calor latente.

Es la cantidad de calor necesaria para cambiar el estado físico de una sustancia sin variar su temperatura, de solido a liquido o de líquido a vapor. La palabra latente significa "oculto", no es percibido por los sentidos.

1.9.6 Calor total.

Es la suma de calor latente y el calor sensible.

1.9.7 Temperatura.

Cuanto más se concentre sobre un punto de un cuerpo una cantidad de energía calorífica dada, tanto más elevada será la temperatura de dicho punto. La temperatura se mide en grados.

1.9.8 Temperatura de saturación.

La temperatura a la cual cambia un líquido a vapor se llama temperatura de saturación. Algunas veces se le llama también "punto de ebullición" o "temperatura de ebullición". Un líquido cuya temperatura ha sido elevada a la temperatura de saturación, se le llama liquido saturado.

1.9.9 Temperatura de rocío.

Es la temperatura a la cual la humedad del aire se condensa, manteniendo constante la presión del mismo.

1.9.10 Temperatura del Bulbo Húmedo (TBH).

La temperatura de bulbo húmedo del aire es la temperatura medida por un termómetro cuyo bulbo se encuentra encerrado en una mecha o saco de tela húmeda.

Se emplea históricamente en las estaciones meteorológicas para calcular la humedad relativa del aire y la temperatura de rocío, mediante fórmulas matemáticas o gráficos/cartas psicométricas.

1.9.11 Temperatura del Bulbo Seco (TBS).

Es la temperatura medida por un termómetro ordinario de bulbo seco y es la medida del calor sensible del aire expresado en grados.

1.9.12 Humedad relativa (HR).

Expresada en porcentaje, es la relación de la masa de vapor de agua por metro cúbico de aire, con relación a la masa de vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire saturado a la misma temperatura.

1.9.13 Humedad absoluta o específica (ω).

La humedad absoluta es la masa total de vapor de agua existente en el aire por unidad de volumen, y se expresa en gramos por metro cúbico de aire.

1.9.14 Entalpía (h)

Expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

1.9.15 Entropía (s)

Permite determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo.

1.9.16 Volumen específico (V)

Es el volumen ocupado por la unidad de masa de una sustancia en condiciones específicas de presión y temperatura.

1.9.17 Refrigeración.

Es una técnica para remover el calor de un cuerpo o sustancia y llevarlo a unas condiciones de menor temperatura, por debajo de la temperatura del medio ambiente.

1.9.18 Refrigerantes.

Es un producto químico, líquido o gaseoso, que es utilizado como medio transmisor de calor entre otros dos en una máquina térmica.

1.9.19 Tonelada de Refrigeración.

Es un término del sistema de unidad ingles que se usa para definir y medir la producción de frío. La cual se define como la cantidad de calor suministrada para fundir una tonelada de hielo (2000 lb) en 24 horas, esto es basado en el concepto de calor latente de fusión (144 btu/lb), es decir: $2000 \text{ lb} \times 144 \text{ Btu/lb} / 24 \text{ hrs} = 1 \text{ T.R.} = 12,000 \text{ Btu/hr}$.

1.9.20 Potencia.

Es el trabajo realizado por unidad de tiempo.

1.9.21 Ley cero de la Termodinámica.

Establece que si un cuerpo A se encuentra a la misma temperatura que un cuerpo B y este tiene la misma temperatura que un tercer cuerpo C, entonces, el cuerpo A tendrá la misma temperatura que el cuerpo C. Por lo cual estaremos seguros de que tanto el cuerpo A, como el B y C estarán en equilibrio térmico.

1.9.22 Primera ley de la termodinámica.

A esta ley también se le conoce como el Principio de la conservación de energía, el cual establece que al realizar un trabajo sobre un sistema o bien intercambiar calor con otro, la energía interna del sistema cambiara, es decir, como comúnmente se menciona "La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma".

1.9.23 Segunda ley de la termodinámica.

Establece que "El calor jamás fluye espontáneamente de un objeto frío a un objeto caliente".

1.9.24 Carga térmica generada por equipo y alumbrado.

Todas las maquinas son accionadas por motores eléctricos que emplean para de la energía consumida en vencer rozamientos que a su vez se transforman en calor, por lo que tanto, todas las maquinas transforman la energía total.

Para el cálculo del calor emitido al espacio con motores y sus máquinas conducidas existen tres casos:

1.- Si el motor está dentro del espacio y la maquina accionada esta fuera, el calor sensible está dado por:

$$Q_{equipo} = \left(\frac{N}{\eta - N} \right) (746) W \quad (1.14)$$

2.- Si el motor y la maquina accionada por él se encuentran en el interior del espacio climatizado, el calor sensible está dado por:

$$Q_{equipo} = \left(\frac{N}{\eta} \right) (746) W \quad (1.15)$$

3.- Si el motor esta fuera del espacio y la maquina accionada por él está en el interior del espacio, el calor sensible está dado por:

$$Q_{equipo} = (N)(746) W \quad (1.16)$$

Dónde: Q= Calor transferido (W)
 N= Potencia del motor eléctrico (HP)
 η = Eficiencia del motor eléctrico (%)
 746= Factor de conversión de HP a Watts

Actualmente, el proceso de cálculo para la carga térmica se logra con mayor rapidez y confiabilidad gracias a la ayuda de programas para computadora, los cuales contienen una gran información climatológica, estándares de diseño y métodos de cálculo.

Esto es de gran ayuda ya que permiten realizar un cálculo más exacto con factores que el diseñador debe saber elegir para tener un valor certero y el resultado sea confiable para la selección final de equipos.

1.10 Eficiencia en equipo de aire acondicionado.

La característica fundamental de los equipos de aire acondicionado para determinar su eficiencia energética viene establecida por los coeficientes REE y COP.

El primero siglas del término inglés Energy Efficiency Ratio, es el índice de eficiencia energética de una máquina frigorífica en la modalidad de refrigeración, expresa la relación entre la potencia frigorífica total que genera el equipo y la potencia eléctrica consumida. La segunda, abreviatura del término inglés Coefficient Of Performance, es el coeficiente de rendimiento de una máquina frigorífica en la modalidad de calefacción y se refiere a la relación entre la potencia calorífica total y la potencia eléctrica consumida.

Estos índices miden la energía que se produce con la energía invertida en el funcionamiento del equipo, es decir un REE o un COP con un valor de 1 significa que por cada unidad de energía utilizada se produce una unidad de energía, un REE o COP 5, quiere decir que el equipo produce cinco veces más energía que la electricidad que consume.

Modo refrigeración		Modo Calefacción	
Clase de eficiencia energética.	Aparatos divididos.	Clase de eficiencia energética.	Aparatos divididos.
A	3.20 < REE	A	3.60 < COP
B	3.20 ≥ REE > 3	B	3.60 ≥ COP > 3.40
C	3 ≥ REE > 2.8	C	3.40 ≥ COP > 3.20
D	2.80 ≥ REE > 2.60	D	3.20 ≥ COP > 2.80
E	2.60 ≥ REE > 2.40	E	2.80 ≥ COP > 2.60
F	2.40 ≥ REE > 2.20	F	2.60 ≥ COP > 2.40
G	2.20 ≥ REE	G	2.40 ≥ COP

Tabla 1.5 Clase de eficiencia energética para aire acondicionado.
 Recuperado de: www.caloryfrio.com

Capítulo 2 Sistema de iluminación.

2.1 Características y ubicación del CEPE.

El Centro de Enseñanza Para Extranjeros (CEPE) es una entidad educativa de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), cuyo nombre original fue “Escuela de Verano”, fundada por José Vasconcelos en 1921. En sus instalaciones se ofrecen una variedad de cursos y diplomados como:

- Cursos intensivos de español (9 niveles),
- Especialización en enseñanza de español,
- Diplomado de formación de profesores de español como lengua extranjera (DIPELE).

También cuenta con un departamento de certificación del dominio de la lengua española desde donde se coordinan los tres tipos de exámenes que ofrece la UNAM para certificar el dominio del español.

2.1.1 Ubicación del CEPE.

La sede principal del CEPE se encuentra ubicada en el campus central de ciudad universitaria (CU) en México DF colindando al norte con Av. Universidad, al sur con la Facultad de Filosofía y Letras, al este con el circuito escolar y al oeste con la Facultad de Psicología.



Figura 2.1 Localización del CEPE en la CU. Recuperado de www.maps.google.com.mx

La dirección oficial es Av. Universidad 3002, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México, D.F. De acuerdo con esta institución, su misión es la siguiente:

Impulsar la internacionalización de la UNAM, a través de la enseñanza de la lengua española, la historia, el arte y la literatura de México, y de la profesionalización de los docentes formados en cada una de esas áreas académicas, dentro y fuera del país.

2.1.2 Edificaciones existentes

El CEPE Cuenta con 23 salones, 1 sala de usos múltiples, 1 salón de danza, 1 salón de cómputo, 1 sala de maestros, 2 niveles de oficinas, 1 biblioteca y 1 auditorio. Para efectos de ésta tesis, se han nombrado las edificaciones de la siguiente manera:

Edificio	Descripción
A	Salones 14-21
B	Salones 1-B, Sala C, Sala de cómputo, Sala de profesores, Salón de danza.
C	Oficinas y biblioteca
D	Auditorio
E	Bodega

Tabla 2.1 Edificaciones existentes en CEPE. Elaboración propia.

El edificio A está orientado a 13 grados hacia el norte. El edificio B al igual que el D, se encuentra a 12 grados hacia el norte.

Son objeto de estudio de ésta tesis, las edificaciones sombreadas en la Figura 2.2.

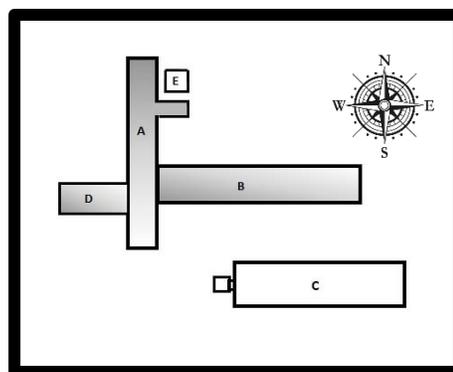


Figura 2.2 Orientación de las edificaciones existentes en el CEPE. Elaboración propia.

2.1.3 Áreas de trabajo

Se determinaron las siguientes áreas y planos de trabajo:

Área	Plano de trabajo [m]
Oficinas	0.75
Salones	0.75
Sala de juntas	0.75
Sala de cómputo	0.75
Salón de danza	0.70
Camerinos	0.0
Auditorio	0.65
Escenario	0.65
Baños	0.65
Pasillos	0.65
Bodegas	0.65

Tabla 2.2 Áreas y planos de trabajo determinadas en CEPE. Elaboración propia.

Los planos de trabajo se obtuvieron promediando los planos medidos en campo, a excepción de pasillos y escaleras cuyo plano, según la norma, debe ser a 75 cm ± 10 cm sobre el nivel del piso.

Con la determinación de las áreas y planos de trabajo, nos será posible determinar los niveles de iluminación y densidades de potencia eléctrica de alumbrado para saber si se cumplen con las normatividades vigentes: NOM-007-ENER-2014, NOM-025-STPS-2008 y NOU-2005.

2.2 Sistema de iluminación actual

2.2.1 Fuentes luminosas actuales

Gracias al levantamiento eléctrico realizado por PAE (Proyectos de Ahorro de Energía) de la Facultad de Ingeniería, fue posible saber la tecnología luminosa, lámparas y balastos, existente en los edificios a estudiar. Se identificaron y contabilizaron las luminarias existentes en el CEPE, sus características, condiciones físicas y ubicación. Los planos con la ubicación de las luminarias se muestran en los Anexos.

En la tabla 2.3 se muestran el número de lámparas totales y por edificio. Se ordenaron de acuerdo a la tecnología luminosa.

Tecnología	Tipo de lámpara	A	B	D	Total
Fluorescente lineal	T12 2x75 W	3	72	24	99
	T12 2x60 W	0	17	3	20
	T12 2x39 W	0	0	5	5
	T8 3x32 W	0	0	3	3
	T8 2x32 W	20	23	2	45
	T8 1x32 W	64	2	4	70
	T8 8x32 W	0	0	5	5
	T5 2x21 W	1	0	0	1
	T5 1x28 W	0	0	4	4
	T5 2x28 W	22	42	2	66
	T5 3x14 W	0	12	0	12
Fluorescente compacta	FC 23 W	27	3	18	48
	FC 2x11 W	0	11	0	11
	FC 1x13 W	0	1	0	1
Incandescente	Halógena 50 W	0	2	0	2
	Halógena 40 W	0	0	6	6
	Incandescente 40 W	0	0	1	1
LED	LED 9 W	0	5	0	5

Tabla 2.3 Lámparas existentes en CEPE. Elaboración propia.

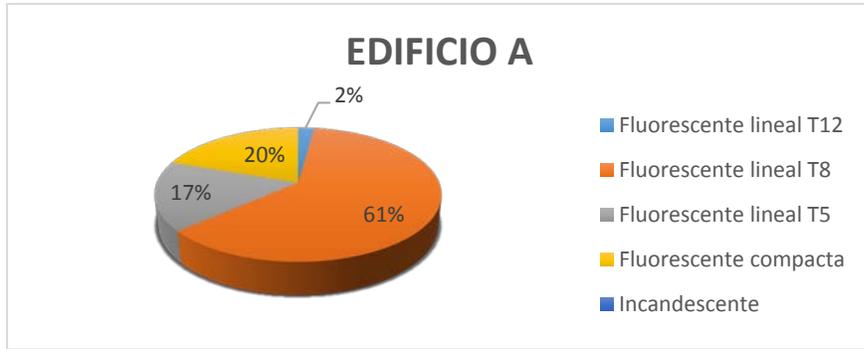


Gráfico 2.1 Tecnologías luminosas existentes en el edificio A. Elaboración propia.

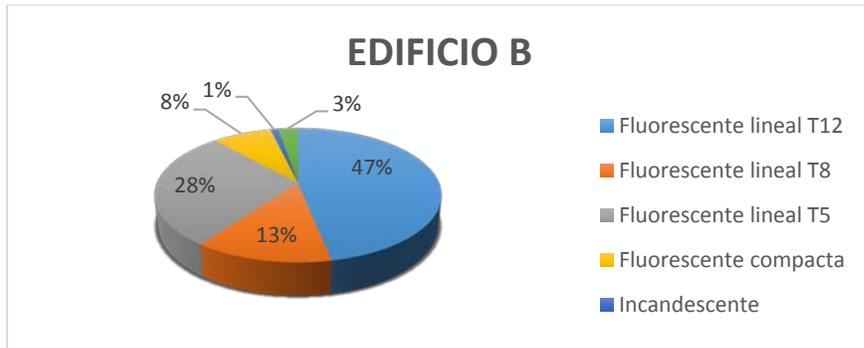


Gráfico 2.2 Tecnologías luminosas existentes en el edificio B. Elaboración propia.

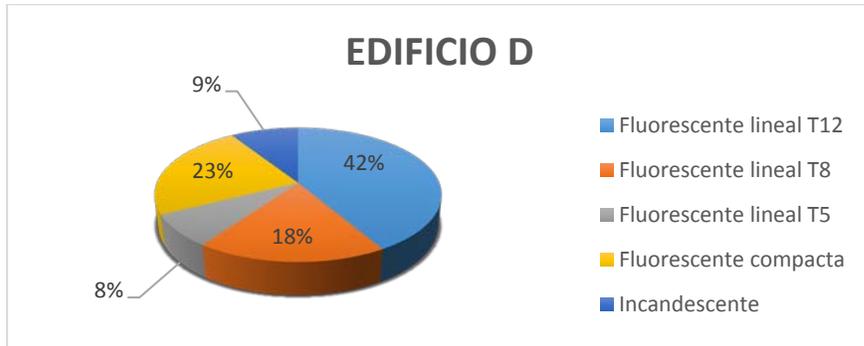


Gráfico 2.3 Tecnologías luminosas existentes en el edificio D. Elaboración propia.

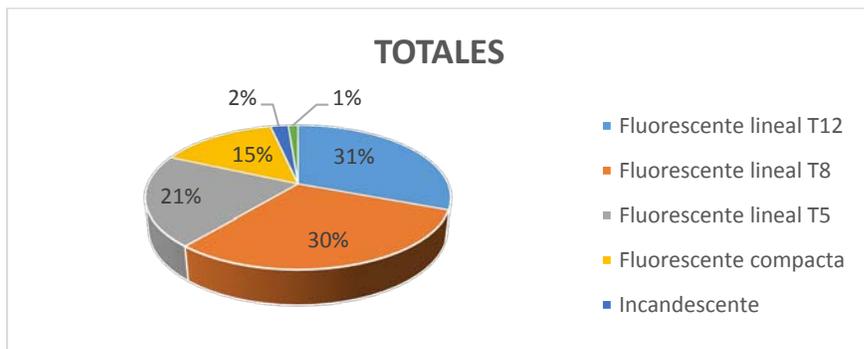


Gráfico 2.4 Tecnologías luminosas existentes en CEPE. Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico 2.1, en el edificio A prevalece la tecnología T8, mientras que en el edificio B y D (gráfico 2.2 y 2.3) prevalece la tecnología T12. Si hacemos el total de cada tipo de lámpara, como se puede apreciar en el gráfico 2.4, CEPE cuenta en su mayoría con tubos fluorescentes lineales T12.

Éste tipo de tecnología es obsoleta y usan además balastros electromagnéticos, por lo que resultan tener mayor consumo de energía, menor eficacia lumínica y, en consecuencia, ser ineficientes pues se requieren más lámparas (mayor consumo energético) para poder llegar a los niveles de iluminación adecuados pudiendo exceder los niveles de DPEA establecidos.

Es importante hacer notar el estado actual de las luminarias en CEPE. Al realizar el levantamiento eléctrico, se detectó que el mantenimiento no es periódico puesto que muchas de las luminarias no encendían, otras cuantas no contaban con difusor y/o reflector y muchos difusores se han tornado amarillentos u opacos reduciendo el flujo luminoso y por tanto, los niveles de iluminación en el local.

2.2.2 Niveles de iluminación

Para poder hacer el análisis lumínico actual del CEPE es necesario, saber los valores que establece la norma como adecuados para cada actividad y edificación.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la NOM-025-STPS-2008 y NOU nos establecen los niveles de iluminación mínimos para una correcta iluminación del lugar.

Es importante, primero, saber los índices y parámetros que se deben considerar antes de obtener las lecturas de los niveles. El apéndice A de la NOM nos indica cómo establecer la cantidad de mediciones que se hará en el local y la localización de los mismos. De acuerdo con este apéndice, se debe obtener el índice del área de cada local (IC) el cual se calcula de la siguiente manera:

$$IC = \frac{(x*y)}{h*(x+y)} \quad (2.1)$$

Donde:

X= largo del local en metros

Y=ancho del local en metros

h= altura de la luminaria con respecto al plano de trabajo, en metros.

De acuerdo con el IC obtenido y, siguiendo lo establecido en la tabla 2.4, será posible saber el número zonas en las que el local debe dividirse, realizar una medición por cada zona y así, obtener los niveles de iluminación promedio del local.

Índice de área	Número de zonas a evaluar
IC<1	4
1≤IC<2	9
2≤IC<3	16
3≤IC	25

Tabla 2.4 IC's y zonas a evaluar. NOM-025-STPS-2008.

En cada local, se debe realizar al menos una medición en cada plano de trabajo a excepción de los pasillos y escaleras, cuyas mediciones deben hacerse entre luminarias y a $75 \text{ cm} \pm 10 \text{ cm}$ sobre el nivel del piso.

Existen 3 pasillos, el pasillo del edificio A, el del edificio B y el del edificio D, se tomaron 31, 19 y 34 mediciones de niveles de iluminación respectivamente.

En cuanto a escaleras se refiere, las únicas con que cuenta CEPE se encuentran dentro del Auditorio. En ésta área se realizaron 9 mediciones.

Para ésta tesis, se consideraron de mayor importancia los niveles establecidos por la NOM-025-STPS-2008.

Es importante cumplir con los niveles mínimos de iluminación. Niveles bajos de iluminación pueden ser causantes de fatiga visual, dolor de cabeza irritabilidad, disminución de visión y en los peores casos, accidentes laborales mientras que, altos niveles de iluminación aumentan la productividad pero, pueden causar deslumbramiento, impidiendo la realización de las labores por el malestar que esto provoca, dando lugar al cansancio visual, incomodidad ocular y menor rendimiento⁹.

Las normas aplicables, tienen un porcentaje de variación permitido. En el caso de la norma universitaria, la variación permitida es de $\pm 10\%$. Contrario a la NOU, la NOM no establece variación alguna, solo especifica que los niveles de iluminación no deben ser menores a los señalados en la misma.

Hay áreas de trabajo que la NOU no contempla y por lo tanto, no tiene niveles de iluminación establecidos; sucede lo mismo con la NOM. En estos casos, se tomará en cuenta el nivel de iluminación de la norma que considere el área en estudio.

Una vez establecidos los parámetros y criterios anteriores, se procedió a medir los niveles de iluminación en cada local. Para cumplir con la norma, en los lugares donde hay incidencia de luz natural, se realizaron mediciones en dos momentos del día.

La primera medición se realizó cuando existe influencia de luz diurna (10:00-14:00 horas) y la segunda cuando no hay luz diurna y los sistemas de iluminación artificial son utilizados (19:00-21:00 horas).

El IC, número de mediciones, nivel de iluminación promedio medido y el establecido se muestran por edificio y área de trabajo en la tabla 2.5.

⁹ La iluminación en el trabajo: Efectos visuales y biológicos, pp.7.

Edificio	Área de trabajo	IC	Número de mediciones	Nivel de iluminación promedio medido (lx)		Nivel de iluminación mínimo establecido por norma (lx)		Cumple con norma		Uniformidad
				Diurno	Nocturno	NOM	NOU (±10%)	NOM	NOU	
A	Salones	0.98	4	100	251	300	400	NO	NO	0.34
	Salón de danza	1.59	9	NA	225	300		NO		0.42
	Oficinas	0.45	4	NA	135	200	150	NO	SI	0.49
	Baños	0.96	4	NA	76	200	150	NO	NO	0.55
	Bodegas	0.70	4	NA	111	100		SI		0.75
	Pasillos				641	183	100			
B	Salones	0.99	4	349	267	300	400	NO	SI	0.29
	Sala de juntas	1.13	9	240	391	300	300	SI	SI	0.71
	Sala de computo	1.29	9	200	243	500	300	NO	NO	0.60
	Oficina	0.58	4	324	362	300	400	SI	SI	0.21
	Baños	0.23	4	NA	37	200	150	NO	NO	0.42
	Bodegas	0.21	4	NA	57	100		NO		0.13
D	Pasillos			519	237	100	100	SI	NO	0.49
	Auditorio	1.81	9	NA	190	300		NO		0.11
	Escenario	0.78	4	NA	40	500		NO		0.52
	Camerino	0.77	4	NA	228	500		NO		0.31
	Cabina	0.49	4	NA	116	300		NO		0.50
	Oficina	0.31	4	NA	108	300	400	NO		0.63
	Baños	0.36	4	NA	254	200	150	SI	NO	0.71
	Bodegas	0.64	4	NA	141	100		SI		0.31
	Pasillos			436	437	100	100	SI	NO	0.03
Escaleras			NA	72	50	100	SI	NO	0.56	

Tabla 2.5 Niveles de iluminación promedio medidos. Elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla 2.5:

- Los niveles promedio de iluminación son bajos en el edificio A, esto se debe a que no existe gran incidencia de luz natural. Así mismo, los niveles de iluminación nocturnos son bajos pues algunas lámparas de algunos salones se encuentran fundidas.
- En los locales del edificio B, los niveles promedio de iluminación nocturnos son medianamente mayores que los diurnos o incluso, menores. Esto se debe al tipo de tecnología en este edificio.

2.2.3 Densidad de potencia eléctrica de alumbrado.

La NOM-007-ENER-2014 establece los niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica.

La expresión para el cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) es:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} \quad (2.2)$$

Donde la DPEA está expresada en W/m², la carga total conectada para alumbrado, que incluye la potencia total del sistema de alumbrado, está expresada en watts y el área total iluminada está expresada en metro cuadrado.

En el inciso 6 de la NOM, se establecen las edificaciones y la DPEA para cada una de ellas. La tabla 2.6 muestra la DPEA máxima para los edificios en CEPE.

Edificio	DPEA (W/m ²)
Oficinas	12
Escuelas y demás centros docentes	
Escuelas o instituciones educativas	14
Bodegas	
Bodegas o áreas de almacenamiento	10
Recreación y cultura	
Teatros	15

Tabla 2.6 Niveles de DPEA establecidos por la NOM-007-ENER-2014.

Para poder determinar y analizar la DPEA de cada edificio, seguiremos la metodología indicada en el inciso 8.2 de la NOM. Primeramente, identificaremos de acuerdo con la norma, las áreas de trabajo en cada edificio así como la DPEA máxima permitida para cada una.

Las áreas de trabajo del edificio A cuya DPEA se establece en la NOM-007-ENER-2014 son: salones, bodegas, oficinas, las del edificio B: salones, oficinas y bodegas y las del edificio D: auditorio, bodegas y oficinas. En las áreas que no se establecen en la NOM se tomó la DPEA del tipo de edificio al que pertenecen.

Como lo establece la sección 8.3 de la norma, es necesario saber la potencia del conjunto lámpara-balastro en los casos donde éste último es requerido. En la sección anterior, se señalaron las tecnologías luminosas existentes en el CEPE. A continuación se muestran las potencias del conjunto lámpara balastro.

Lámpara [W]	Balastro				
	Fabricante	Wnom (W)	FB	FP	THD
T12 2X75	Lumicon	180	-	0.9	-
T12 2X60	ISB	86	0.66	0.9	<10%
T12 2X39	ISB	98	-	0.95	<10%
T8 3X32	Osram	86	0.88	0.9	<10%
T8 2X32	Osram	59	0.88	0.9	<10%
T8 1X32	Osram	30	0.88	0.9	<10%
T8 8X32	Osram	236	0.88	0.9	<10%
T5 2X21	ISB	50	0.88	0.98	<10%
T5 1X28	ISB	33	0.88	0.98	<10%
T5 2X28	ISB	62	0.88	0.98	<10%
T5 3X14	Philips	50	0.88	0.98	<10%

Tabla 2.7 Potencia del conjunto lámpara balastro. Elaboración propia.

En las tablas subsecuentes se muestran las cargas de alumbrado y la DPEA para cada área de trabajo de cada edificio de CEPE así como la DPEA del edificio.

Edificio	Área de trabajo	Carga de alumbrado (W)	Área (m ²)	DPEA	DPEA norma	DPEA edificio	DPEA NOM
A	Salones	3,249	431.10	7.53	14	7.72	14
	Oficinas	50	7.25	6.88	12		
	Bodega	540	23.50	22.96	10		
	Exterior	1,836	273	6.72	1.3		

Tabla 2.8 DPEA en el edificio A del CEPE. Elaboración propia.

Edificio	Área de trabajo	Carga de alumbrado (W)	Área (m ²)	DPEA	DPEA norma	DPEA edificio	DPEA NOM
B	Salones	15,800	728.92	21.67	14	18.22	14
	Oficina	1051	73.73	14.25	12		
	Bodega	57	5.92	9.62	10		
	Exterior	2,604	262.29	9.92	1.3		

Tabla 2.9 DPEA en el edificio B del CEPE. Elaboración propia.

Edificio	Área de trabajo	Carga de alumbrado (W)	Área (m ²)	DPEA	DPEA norma	DPEA edificio	DPEA NOM
D	Auditorio	2,736	191.54	14.28	15	28.20	15
	Oficinas	196	5.46	35.89	12		
	Bodega	184	18.15	10.13	10		
	Exterior	4578	57.59	79.48	1.3		

Tabla 2.10 DPEA calculados para el edificio D del CEPE. Elaboración propia.

A partir de las tablas, se puede determinar lo siguiente:

- * En el edificio A, la DPEA en las bodegas sobrepasa el límite indicado por la norma, sin embargo, de acuerdo con el inciso 8.2.1 se permite que un área sobrepase los límites siempre y cuando las demás áreas compensen estos valores, haciendo que el edificio cumpla con el máximo permitido.
- * La DPEA en el edificio B no se cumple para dos de los cuatro tipos de locales que existen. Esto puede deberse a que es el edificio con la tecnología luminosa más anticuada del CEPE, teniendo estragos como los mencionados en el apartado 2.2.1 de ésta tesis.
- * Puede apreciarse que en el edificio D no cumple con DPEA en ninguna de sus áreas de trabajo y por lo tanto el edificio tampoco.

Debido a que la norma establece que la DPEA para lugares exteriores e interiores nunca deben tomarse por igual si no, calcularse y analizarse por separado, en la tabla 2.11 se muestra la DPEA calculada para cada pasillo.

Edificio	Carga de alumbrado (W)	Área (m ²)	DPEA
A	1,836	273	6.72
B	2,604	262.29	9.92
D	4,578	57.59	79.48

Tabla 2.11 DPEA para pasillos de CEPE. Elaboración propia.

La norma oficial mexicana establece que la DPEA para las áreas exteriores restantes, que formen parte de los edificios contemplados dentro del campo de aplicación de la Norma no debe ser mayor de 1.3 W/m².

Como puede observarse, ninguno de los pasillos cumple con los niveles establecidos por norma. Será uno de los objetivos de este trabajo, lograr la reducción de la Densidad Eléctrica de Potencia.

2.3 Sistema de iluminación propuesto.

En la tabla 2.12 se pueden apreciar las características de las luminarias que se han propuesto en CEPE. Por otro lado, en la tabla 2.13 se muestra el total de luminarias por edificio.

Se tomó como referencia la *ISO 8995:2002 CIE S008/E-2001* para uno de los criterios de selección de las luminarias. De acuerdo con ésta ISO, las lámparas utilizadas en interiores no deben tener un IRC menor a 80 pues, son lugares donde la gente pasa largos periodos de tiempo¹⁰. Se han seleccionado estas luminarias debido a que de las que se investigaron en el mercado son las que presentan mayor eficacia, vida útil e IRC.

¹⁰ ISO 8995:2002 CIE S008/E-2001 pp.7

Nombre	Fabricante	W nom	IRC	Temp. Color	Eficacia (lm/W)	Lúmenes (lm)	Vida útil (L70) (horas)
GE LED	GE	16	>80	4000 K	100	1600	40 000
GE LED	GE	20	>80	4000 K	103	2050	40 000
LITHONIA DOWNLIGHT LED	LITHONIA	9	>83	4000 K	68	615	50 000
LITHONIA DOWNLIGHT LED	LITHONIA	14	>83	4000 K	64	900	50 000
LITHONIA DOWNLIGHT LED	LITHONIA	21	>83	4000 K	67	1475	50 000
LITHONIA	SYLVANIA	2x24	85	4100 K	83	2000x2	25 000
HOLOPHANE	SYLVANIA	2x54	85	4100 K	93	5000x2	25 000
ILLUX LED PAR	ILLUX	16	80	2700 k	68.12	1090	40 000
TECNOLITE LED	TECNOLITE	5	80	3000 K	94	470	40 000

Tabla 2.12 Luminarias propuestas. Elaboración propia.

Tecnología		Tipo de lámpara	A	B	D	Total
Fluorescente lineal	Lineal T5HO	2x24 W		87		87
		2x54 W		6		6
LED	PAR 38	16 W			27	27
	Lineal T8	16 W	177	74	48	299
		20 W	28			28
		22 W	3	1	8	12
		14 W		10	2	12
		9 W	16	20	13	49
	5 W			6	6	

Tabla 2.13 Número de lámparas en cada edificio. Elaboración propia.

2.3.1 Cálculos aplicando el método de los lúmenes.

Se ha utilizado el método de lúmenes para el cálculo del número de luminarias. En este apartado, se muestra el procedimiento para el salón 12 perteneciente al edificio B. Para el resto de los locales, los cálculos y procedimiento fueron los mismos.

Los datos de éste local son los siguientes:

Ancho (a) : 4.52 [m]	Iluminancia requerida (E): 400 lx	Coeficientes de reflexión: Techo : 0.8 Pared: 0.7 Suelo: 0.30
Largo (b) : 8.81 [m]	Luminaria propuesta: Lithonia T5HO 2x24 W	
Altura a luminaria (h) : 3 [m]	Flujo luminoso por luminaria (ϕ_l): 4000 lm	
Altura de local : 3 [m]	Factor de mantenimiento (fm) : 0.8	

Con todos estos datos, se calcula el índice de local de la siguiente manera:

$$K = \frac{(a*b)}{h*(a+b)} = \frac{(4.52)*(8.81)}{3*(4.52+8.81)} = 0.99577$$

Una vez obtenido éste índice, nos referimos a la tabla de coeficientes de utilización (CU) de la luminaria propuesta. En éste caso, la tabla se muestra de lado izquierdo.

RCC %:	80			
RW %:	70	50	30	0
RCR: 0	1.04	1.04	1.04	1.04
1	.95	.92	.88	.85
2	.88	.81	.76	.71
3	.80	.72	.65	.60
4	.74	.64	.57	.52
5	.68	.58	.51	.45
6	.63	.52	.45	.40
7	.59	.48	.41	.35
8	.55	.44	.37	.32
9	.52	.40	.33	.29
10	.48	.37	.31	.26

Con los coeficientes de reflexión entramos a la tabla, notamos que el índice de local se encuentra entre 1 y 2 por lo que se obtuvo la ecuación cuadrática que representa a esta tabla y sustituyendo valores se obtuvo que para $k=0.99577$ el $CU=0.95353$.

Enseguida, obtendremos el flujo luminoso total (Φ_T) requerido en el área:

$$\Phi_T = \frac{E*(a*b)}{(cu)*(fm)} = \frac{400*(4.52*8.81)}{(0.95353)*(0.8)} = 20,880.7334 \text{ (lm)}$$

Finalmente, podemos saber el número de luminarias requeridas:

$$NI = \frac{\Phi_T}{\Phi_L} = \frac{20,880.7334}{4000} = 5.22 = 6$$

Como se puede observar, el número de luminarias requeridas es de 5.22 pero, ya que no se pueden instalar éste número de luminarias, se redondea a 6.

2.3.2 Simulación utilizando Dialux.

Para poder verificar que las luminarias escogidas fueran las indicadas y que, el número de luminarias calculado fuera el necesario para alcanzar los niveles de Iluminancia requeridos en los locales, se hizo uso del software Dialux.

Dialux nos permite obtener los niveles de iluminación promedio, los niveles de deslumbramiento y uniformidad, entre otros. Para poder simular todo esto, es necesario obtener los archivos digitales de las luminarias compatibles con el programa, cuya extensión es “.ies”, y que son proporcionados por los fabricantes.

Se mostrarán a continuación algunos ejemplos de la simulación, el nivel de iluminación promedio obtenido, así como la uniformidad y el deslumbramiento.

Comenzaremos mostrando los niveles de iluminación promedio obtenidos en el salón 12. La figura 2.4 es la gama de colores que el programa nos proporciona para poder hacer visibles de una manera más amigable los niveles de iluminación en el plano útil.

La Iluminancia promedio para el salón 12 es de 403 luxes. Pudiéramos decir entonces, que éste salón cumple con los niveles establecidos. Así mismo y de acuerdo con cálculos proporcionados por Dialux, se tiene una uniformidad de 0.54 y un deslumbramiento de 14, que de acuerdo con la CIE sugiere un nivel apenas perceptible de deslumbramiento.



Figura 2.3 Simulación del salón 12. Elaboración propia.

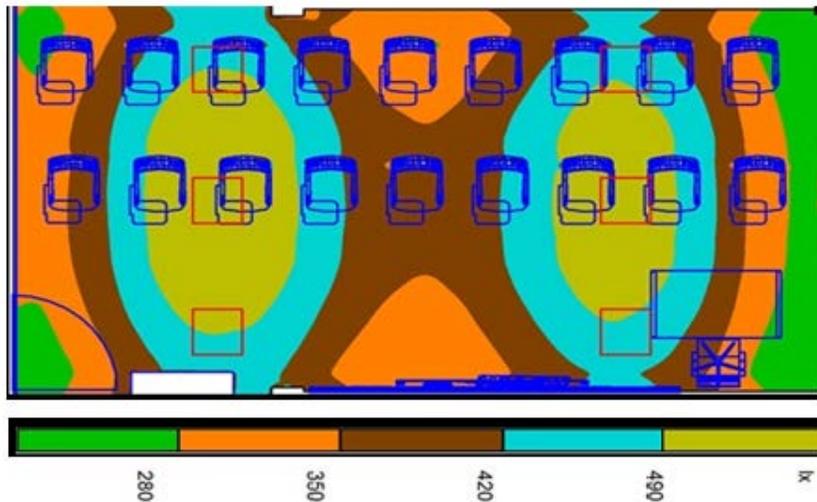


Figura 2.4 Niveles de iluminación en el salón 12. Elaboración propia.

El deslumbramiento se ha obtenido utilizando una capa UGR y simulando que el observador se encuentra mirando hacia el pizarrón.

Las figuras 2.5 y 2.6 pertenecen a la sala de cómputo, ésta sala tiene la característica de tener oficinas en la parte de atrás por lo que se utilizaron dos áreas de cálculo para verificar que se cumplieran los niveles establecidos para cada área.

Para poder determinar los niveles de iluminación y deslumbramiento en cada área se utilizaron 2 superficies de cálculo y UGR respectivamente.

De esta manera, se obtuvo que para el área de oficinas, se tiene una Iluminancia promedio de 428 luxes con una uniformidad de 0.707 y un deslumbramiento de 18. En la segunda área se tiene un promedio de 548 luxes, uniformidad de 0.565 y un deslumbramiento de 16.



Figura 2.5 Simulación de la sala de cómputo. Elaboración propia.

En forma conjunta, se tiene un promedio de 507 luxes. La NOM 025 establece un nivel de iluminación mínimo de 500 luxes, mientras que la NOU un mínimo de 300 lx con $\pm 10\%$ de tolerancia. Por lo anterior y comparando valores, podemos decir que el local cumple los niveles establecidos por la NOM pero sobrepasa los establecidos por la NOU.

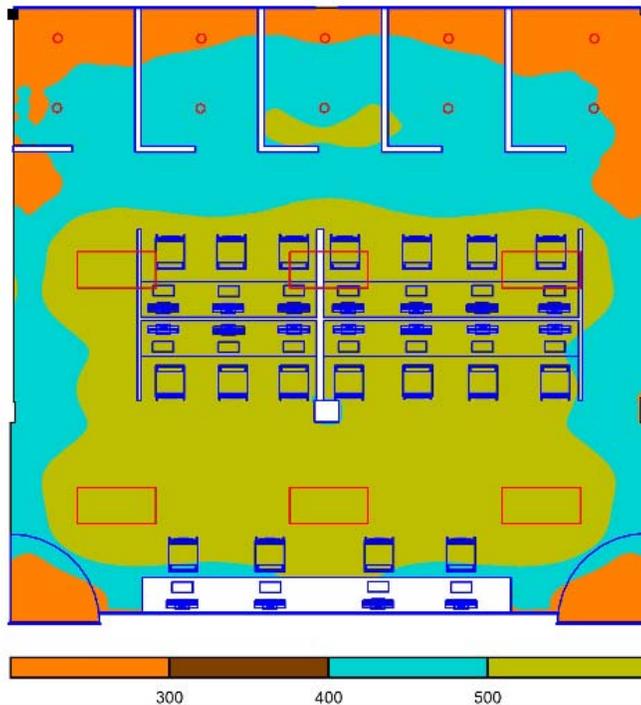


Figura 2.6 Niveles de iluminación en la sala de cómputo. Elaboración propia.

Así mismo, se tiene una uniformidad de 0.52 y un deslumbramiento de 17 que corresponde a un nivel perceptible de deslumbramiento.

La siguiente simulación corresponde a la de las escaleras internas del auditorio. Para poder obtener el valor de iluminancia promedio, se han utilizado tres superficies de cálculo inclinadas, de tal manera que hubiera una distancia de 0.65 m sobre el nivel de cada escalón tal y como se puede apreciar en la Fig. 2.7

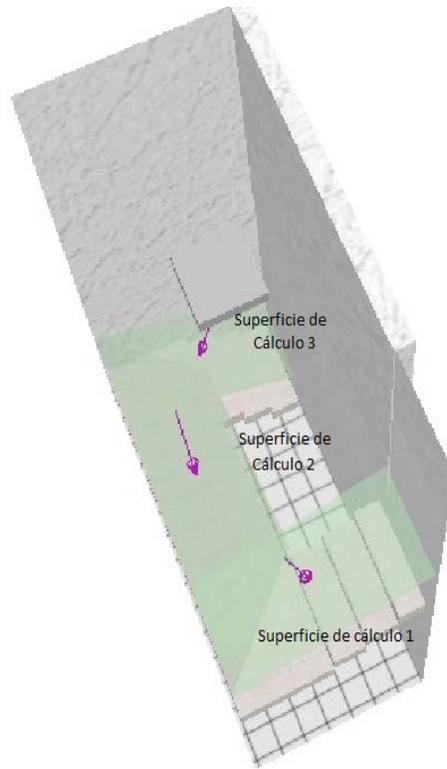


Figura 2.7 Superficies de cálculo en escaleras. Elaboración propia.

Es así que, la figura 2.8 muestra la gama de colores correspondiente a la superficie de cálculo 1, la figura 2.9 la gama de la superficie 2 y la figura 2.10 la gama de la superficie 3.

Hablando de iluminancias, la superficie 1 tiene en promedio 129 lx, la superficie 2, 92 lx y la superficie 3, 56 lx. Podríamos decir entonces, que se tiene un promedio de 93 lx en el plano de trabajo.

Podemos dar por hecho que las escaleras cumplen con los niveles establecidos por la NOM y NOU, debido a que el nivel mínimo permitido por la primera es de 50 lx, mientras que la segunda permite un nivel 100 luxes con una tolerancia de $\pm 10\%$.

Por otro lado, los niveles de uniformidad fueron de 0.74, 0.76 y 0.80 respectivamente. Se tiene un deslumbramiento máximo de 10 (imperceptible).

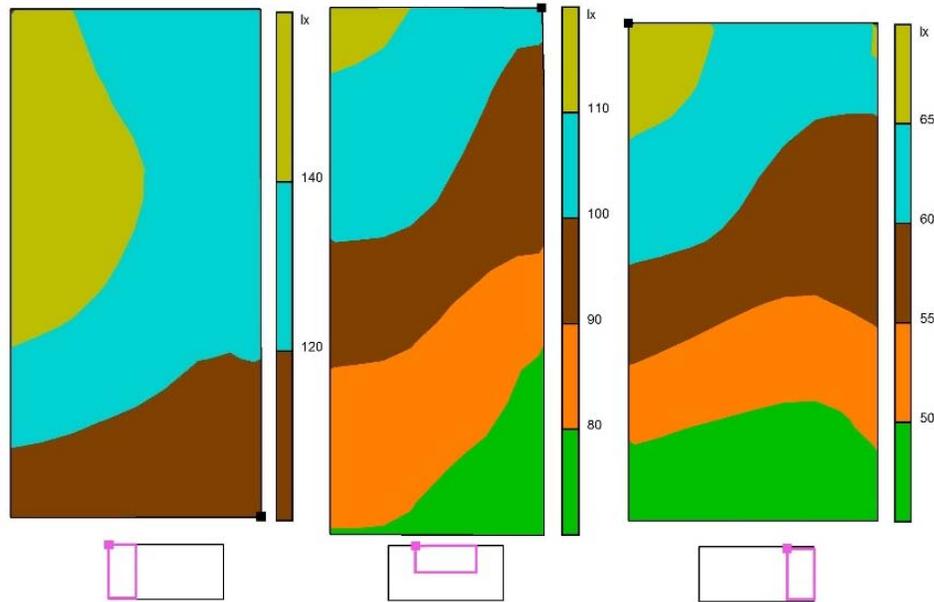


Figura 2.10 Iluminancia promedio en la superficie 1. Elaboración propia.

Figura 2.9 Iluminancia promedio en la superficie 2. Elaboración propia

Figura 2.8 Iluminancia promedio en la superficie 3. Elaboración propia

Las figuras 2.11 y 2.12 corresponden a la simulación y niveles de iluminación promedio obtenidos en el área de butacas del auditorio. Para poder obtener la Iluminancia promedio y el deslumbramiento, se hizo uso nuevamente de una superficie de cálculo y una superficie UGR inclinada.

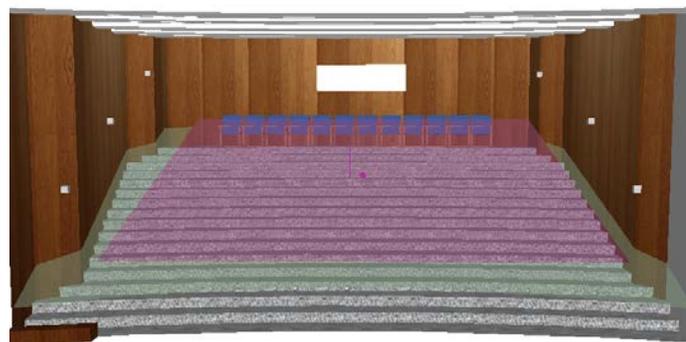


Figura 2.11. Superficies utilizadas para el cálculo de iluminancias y deslumbramiento. Elaboración propia.

Se obtuvo de esta manera, que se tienen en promedio 315 lx, una uniformidad de 0.4 y un deslumbramiento de 17 (perceptible).

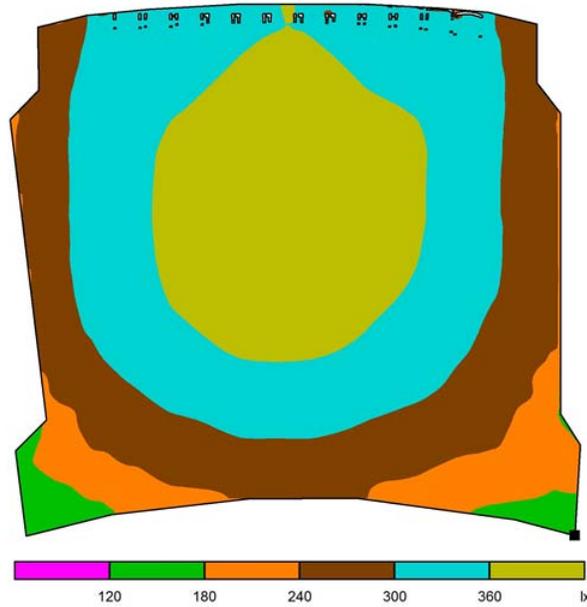


Figura 2.12 Niveles de iluminación promedio en el área de butacas. Elaboración propia.

La Norma Universitaria no establece niveles de iluminación para éste tipo de áreas y, aunque la NOM tampoco lo establece, se consideró que es un área que requiere de una distinción clara de detalles, es decir, requiere de 300 lx en promedio. El sistema de iluminación propuesto proporciona 15 luxes más que lo establecido por norma, por lo cual, se puede decir que cumple con ésta.

Como último ejemplo se muestra la simulación de los baños de mujeres en el edificio A. Se obtuvo un nivel de iluminación promedio igual a 224 lx, una uniformidad de 0.54 y un deslumbramiento de 10 (imperceptible).

La NOM 025 establece un nivel de iluminación mínimo de 200 luxes y la NOU un nivel máximo de 175 lx.

La figura 2.13 es la simulación de los baños con las luminarias propuestas y la figura 2.14 es la gama de colores correspondiente al plano de trabajo, 0.65 m.



Figura 2.13 Simulación de los baños de mujeres. Elaboración propia.

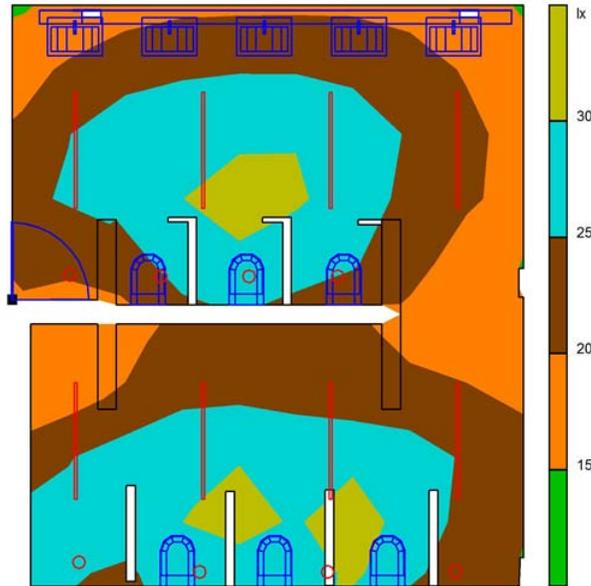


Figura 2.14 Iluminancias promedio en los baños. Elaboración propia.

2.3.3 Niveles de iluminación.

Para poder obtener los niveles de iluminación promedio en los locales, lo primero que se hizo fue importar los planos de AutoCAD a Dialux para poder trazar cada uno de los locales y darle las características necesarias tales como reflectancias de paredes, techo, suelo, superficies de trabajo y superficies UGR. Fue importante también, definir la ubicación y orientación del edificio.

Enseguida, se insertaron los archivos .ies de cada luminaria, el programa es capaz de predecir el número de luminarias una vez que uno le ingrese el nivel de iluminación promedio requerido. Una vez hecho lo anterior, se renderiza¹¹.

La CIE (International Commission on Illumination) define el UGR (Unified Glare Rating) como el índice de deslumbramiento visual causado por la iluminación artificial. En la publicación *CIE 117-1995* se definió el método para su cálculo y en la *ISO-8995:2002 CIE S 008/E* se establece la escala UGR, la cual puede observarse en la tabla 2.14¹².

GRADO	UGR	Discomfort Glare Criterion
0	10	Imperceptible
1	13	Apenas perceptible
2	16	Perceptible
3	19	Apenas aceptable
4	22	Inaceptable
5	25	Apenas incómodo
6	28	Incomodo

Tabla 2.14 UGR. Recuperado de: *ISO-8995:2002 CIE S 008/E*.

Otro de los parámetros que se analizó fue la probabilidad de confort visual, VCP definido por la IESNA en su Handbook, 9th Edition, página 9-26 como: “La probabilidad de que un observador no experimente incomodidad al observar el sistema de iluminación bajo ciertas condiciones”. Para ésta tesis se usó la tabla 2.15¹² para poder determinar el VCP.

UGR	VCP
11.6	90%
16	80%
19	70%
21.6	60%
24	50%

Tabla 2.15 VCP.

Recuperado de: *ISO-8995:2002 CIE S*

¹¹ La renderización es el proceso de generar una imagen o animación en 3D a partir de un modelo, usando una aplicación de computadora.

¹² AGI32 Calculations UGR concepts.

A continuación se muestra el resumen de lo obtenido a través de las simulaciones en DIALUX.

Edificio	Local	Plano útil	Nivel de iluminación promedio	Uniformidad	Nivel de iluminación requerido.		Cumple con normatividad		UGR	VCP (%)
					NOM	NOU	NOM	NOU		
A	Salones	0.75	436	0.62	300	400	SI	SI	15	80
	Salón de danza	0	312	0.60	300	x	SI	x	16	80
	Oficina	0.75	464	0.55	300	400	SI	SI	20	70
	Baños	0.65	231	0.52	200	150	SI	NO	10	90
	Bodega	0.65	131	0.57	100	x	SI	x	17	80
	Pasillo	0.65	104	0.51	100	100	SI	SI	16	80
B	Salones	0.75	401	0.54	300	400	SI	SI	14	80
	Sala de juntas	0.75	319	0.50	300	300	SI	SI	14	80
	Sala de computo	0.7	548	0.56	500	300	SI	NO	17	80
	Oficina	0.75	427	0.64	300	400	SI	SI	17	80
	Baños	0.65	231	0.72	200	150	SI	NO	10	90
	Bodega	0.65	178	0.84	100		SI		10	90
	Pasillos	0.65	112	0.55	100	100	SI	NO	11	90
D	Auditorio	0.75	316	0.52	300		SI		17	80
	Escenario	0	530	0.47	500		SI		18	70
	Camerino	0.7	503	0.68	500		SI		12	90
	Cabina	0.75	307	0.61	300		SI		10	90
	Oficina	0.75	303	0.64	300	400	SI	NO	10	90
	Baño	0.65	249	0.54	200	150	SI	NO	10	90
	Bodega	0.65	187	0.58	100		SI		10	90
	Pasillo	0.65	120	0.42	100	100	SI	NO	16	80
	Escalera	0.65	92.33	0.77	50	100	SI	SI	10	90

Tabla 2.16 Resumen de los parámetros lumínicos obtenidos a través de la simulación. Elaboración propia.

2.3.4 Densidad de potencia eléctrica de alumbrado.

En la sección 2.3 se enlistaron las luminarias propuestas en CEPE. A continuación se muestran las potencias del conjunto lámpara balastro en las lámparas donde es aplicable.

LÁMPARA		BALASTRO			
Tecnología	Potencia (W)	Potencia (W)	FB	FP	THD
Fluorescente Lineal T5HO	24X2	54	1	1	<10%
	54X2	118	1	1	<10%

Tabla 2.17 Potencias del conjunto lámpara balastro de las luminarias fluorescentes lineales propuestas. Elaboración propia.

LÁMPARA		
Tecnología	Potencia (W)	
	LED	Lineal T8
		20
PAR 38		16
Downlight		21
Downlight		14
Downlight		9
Bulbo E27		5

Tabla 2.18a. Potencias del conjunto lámpara balastro de las luminarias LED propuestas. Elaboración propia.

En las tablas subsecuentes se muestran las cargas de alumbrado, las áreas iluminadas y los DPEA de cada edificio.

Edificio	Local	Potencia de alumbrado (W)	Área (m ²)	DPEA	DPEA NOM	DPEA edificio	DPEA NOM
A	Salones	2954	431.10	6.85	14	4.9	14
	Oficinas	66	7.25	9.09	12		
	Bodegas	54	23.50	2.29	10		
	Exterior	528	273	1.93	1.3		

Tabla 2.19 DPEA calculada en el edificio A del CEPE. Elaboración propia.

Edificio	Local	Potencia de alumbrado (W)	Área (m ²)	DPEA	DPEA NOM	DPEA edificio	DPEA NOM
B	Salones	5731	728.92	7.86	14	6.4	14
	Oficinas	621	73.73	8.42	12		
	Bodegas	36	5.92	6.07	10		
	Exterior	544	262.29	2.07	1.3		

Tabla 2.20 DPEA calculada en el edificio B del CEPE. Elaboración propia.

Edificio	Local	Potencia de alumbrado (W)	Área (m ²)	DPEA	DPEA NOM	DPEA edificio	DPEA NOM
D	Auditorio	1258	191.54	6.56	15	5.6	15
	Oficina	88	5.46	16.11	12		
	Bodega	45	18.15	2.47	10		
	Exterior	160	57.59	2.77	1.3		

Tabla 2.21 DPEA calculada en el edificio D del CEPE. Elaboración propia.

2.3.5 Control de iluminación

Como medida de ahorro energético se ha propuesto que los salones 13-2 cuenten con sensores PIR-fotocelda esto debido a que con luz diurna logran alcanzar los niveles de iluminación requeridos por la normatividad vigente.

La fotocelda será capaz de controlar la iluminación activando las luminarias sólo cuando la iluminación exterior no sea la suficiente mientras que el sensor PIR se encargará de apagar o encender las luces al detectar presencia.

Los sensores que se tomaron como referencia en ésta tesis¹³, están configurados de tal manera que funcionan en 2 modos: AUTO y ECO.

En modo AUTO, el encendido y apagado de las luminarias se hace de forma automática. En modo ECO el encendido del circuito se hace de forma manual, sin embargo, el apagado se hace de forma automática, dependiendo de la presencia de movimiento o los niveles de iluminación.

Estos dos tipos de funcionamiento son sumamente útiles, pues, permite al profesorado y/o alumnado, apagar las luminarias en caso de una proyección o exposición y, en caso que el profesor haya olvidado apagar las luces, el apagado automático será de utilidad. En caso que simplemente se quiera evitar la manipulación del sistema, el modo AUTO está a disposición.

Este tipo de sensores tienen en promedio, una capacidad de carga de 200 W por lo que, por salón se requieren 2 sensores. Se propone tener 1 sensor por cada fila ya que:

- Permite la manipulación en caso de que el profesor necesite apagar las luminarias delanteras o traseras.
- La NOU nos establece un máximo de 3 luminarias por apagador y ya que en éstos salones se tienen 6 luminarias, la propuesta estaría cumpliendo con la norma.

Se sugiere ubicar los sensores cerca de las ventanas para evitar obstrucciones y de ésta manera la lectura del nivel de iluminación diurno sea más exacta.

¹³ Sensor de movimiento PIR QZ5433 marca Bticino.

Capítulo 3 Sistema de aire acondicionado.

Como se mencionaba en el capítulo de iluminación las características del edificio, en el sistema de aire acondicionado influyen también la orientación y factores que afectan la temperatura en la zona.

A diferencia del sistema de iluminación que abarca todas las zonas de los edificios proyectados, el sistema de aire acondicionado solo se encuentra en aquellas zonas críticas en donde es necesario tener un confort en el ambiente por el tipo de evento o mitigar carga térmica en donde se genera un exceso de calor por la operación de equipos electrónicos.

Tomando en cuenta los edificios a analizar se tienen lo siguiente:

Edificio A: Ningún salón cuenta con aire acondicionado, únicamente con ventilación natural.

Edificio B: Salón de cómputo y Site.

Edificio D: Área de escenario y butacas en el auditorio, oficina y cabina.

Se confirma que en salones prevalece la ventilación natural, por lo que no es necesario proyectar un sistema de aire acondicionado.

3.1 Parámetros de diseño

Las condiciones exteriores que serán consideradas para evaluar la modificación en el diseño del sistema de aire acondicionado son las siguientes:

- Lugar: México D.F.
- Altitud sobre el Nivel del Mar: 2,235 m
- Latitud Norte: 19.43°
- Longitud Oeste: 99.13°
- Temperatura de BS verano: 29° C
- Temperatura de BH verano: 16° C
- Humedad relativa: 29.3 %
- Temperatura de BS invierno: 4° C

Los parámetros anteriores se tomaron del apéndice Desing Conditions for selected Locations del ASHRAE 2013 Fundamentals Appendix.

En cuantos a las condiciones interiores de los espacios a acondicionar se tiene las siguientes condiciones de temperatura y humedad recomendadas:

ÁREA	TEMP. BULBO SECO	HUMEDAD RELATIVA	VENTILACION
Auditorio y sala de computo	22 °C ± 1	50%	Ventilación natural en verano

*Tabla 3.1 Condiciones de temperatura y humedad recomendadas.
Recuperado de ASHRAE Fundamentals (2013).*

3.1.1 Carga térmica generada por equipo, alumbrado y ocupantes.

Para obtener la ganancia de calor debido a los ocupantes se tomó en cuenta el calor sensible y latente que se generan por la actividad desempeñada. Esta ganancia se ha especificado en la ASHRAE Fundamentals 2013 en una tabla que se muestra a continuación:

Table 1 Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity

Degree of Activity	Location	Total Heat, Btu/h		Sensible Heat, Btu/h	Latent Heat, Btu/h	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V	High V
Seated at theater	Theater, matinee	390	330	225	105		
Seated at theater, night	Theater, night	390	350	245	105	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	450	400	245	155		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	475	450	250	200		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	550	450	250	200	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	550	500	250	250		
Sedentary work	Restaurant ^c	490	550	275	275		
Light bench work	Factory	800	750	275	475		
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545	49	35
Walking 3 mph; light machine work	Factory	1000	1000	375	625		
Bowling ^d	Bowling alley	1500	1450	580	870		
Heavy work	Factory	1500	1450	580	870	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	1600	1600	635	965		
Athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1090		

Tabla 3.2 Calor sensible y latente generado por ocupantes. Recuperado de ASHRAE Fundamentals (2013).

Se consideró una actividad moderada. La cantidad de calor ganado mostrado en la tabla es por persona, por lo que para saber la total es necesario multiplicar por el número de personas que laboran en cada local.

La carga térmica debida a la iluminación, es decir, los W térmicos por local se obtuvieron de los análisis hechos en el capítulo anterior. Para poder ser consideradas por cargas térmicas se debe obtener los Btu/h que generan. Sabiendo que 1 W térmico es equivalente a 3.4151 Btu/h se pudo determinar la carga térmica generada por el alumbrado considerando que la energía consumida por la luminaria se convierte en su totalidad en energía térmica.

Para obtener la ganancia de calor debido al equipo electrónico o eléctrico que se tenga en el espacio a proyectar, se utilizaron las tablas 10 y 11 del capítulo 18 del ASHRAE Fundamental 2013 las cuales se muestran a continuación.

Table 10 Recommended Heat Gain from Miscellaneous Office Equipment

Equipment	Maximum Input Rating, W	Recommended Rate of Heat Gain, W
Mail-processing equipment		
Folding machine	125	80
Inserting machine, 3600 to 6800 pieces/h	600 to 3300	390 to 2150
Labeling machine, 1500 to 30,000 pieces/h	600 to 6600	390 to 4300
Postage meter	230	150
Vending machines		
Cigarette	72	72
Cold food/beverage	1150 to 1920	575 to 960
Hot beverage	1725	862
Snack	240 to 275	240 to 275
Other		
Bar code printer	440	370
Cash registers	60	48
Check processing workstation, 12 pockets	4800	2470
Coffee maker, 10 cups	1500	1050 W sens., 1540 Btu/h latent
Microfiche reader	85	85
Microfilm reader	520	520
Microfilm reader/printer	1150	1150
Microwave oven, 1 ft ³	600	400
Paper shredder	250 to 3000	200 to 2420
Water cooler, 32 qt/h	700	350

Tabla 3.3 Calor sensible y latente generado por equipo eléctrico y electrónico. Recuperado de ASHRAE Fundamentals (2013).

Table 11 Recommended Load Factors for Various Types of Offices

Type of Use	Load Factor, W/ft ²	Description
100% Laptop, light	0.25	167 ft ² /workstation, all laptop use, 1 printer per 10, speakers, misc.
medium	0.33	125 ft ² /workstation, all laptop use, 1 printer per 10, speakers, misc.
50% Laptop, light	0.40	167 ft ² /workstation, 50% laptop / 50% desktop, 1 printer per 10, speakers, misc.
medium	0.50	125 ft ² /workstation, 50% laptop / 50% desktop, 1 printer per 10, speakers, misc.
100% Desktop, light	0.60	167 ft ² /workstation, all desktop use, 1 printer per 10, speakers, misc.
medium	0.80	125 ft ² /workstation, all desktop use, 1 printer per 10, speakers, misc.
100% Desktop, two monitors	1.00	125 ft ² /workstation, all desktop use, 2 monitors, 1 printer per 10, speakers, misc.
100% Desktop, heavy	1.50	85 ft ² /workstation, all desktop use, 2 monitors, 1 printer per 8, speakers, misc.
100% Desktop, full on	2.00	85 ft ² /workstation, all desktop use, 2 monitors, 1 printer per 8, speakers, misc., no diversity.

Tabla 3.4 Calor sensible y latente generado por equipo eléctrico y electrónico. Recuperado de ASHRAE Fundamentals (2013).

3.2 Sistema de aire acondicionado actual.

Salón de cómputo y Site.

El salón de cómputo consta de 20 equipos de cómputo en un área aproximadamente de 81 m². En el Site se encuentra la instalación del servidor de la sala de cómputo y existen equipos electrónicos que generan calor y se encuentran en un área aproximada de 2.2 m².

En la sala de cómputo se tienen dos equipos minisplit (UC-14 y UC-15) con una capacidad de enfriamiento de 12,000 BTU/hr cada uno. El cuarto técnico tiene un equipo minisplit (UC-16) de 12,000 BTU/hr. Todos los anteriores se encuentran instalados en muros laterales, a unos metros de la entrada a la sala y al cuarto técnico.

La capacidad debe ser suficiente para abatir la carga térmica diseñada en una hora crítica de operación en donde todos los equipos de cómputo se encuentren funcionando con cupo lleno de estudiantes así como niveles de iluminación.

Para el Site, la operación del sistema debe ser constante ya que los equipos electrónicos no se apagan.

Auditorio.

El edificio del auditorio consta de 3 zonas principales acondicionadas.

1.- La zona de butacas del auditorio que consta de 107 m² y tiene una capacidad para 134 personas aproximadamente.

2.- Cabina de operación. En ella existen tableros para control de iluminación y audio así como personal de apoyo en un área de 11.5 m².

3.- La oficina izquierda consiste en un área de resguardo en donde se encuentra una persona.

Los equipos de aire acondicionado son tipo divididos (minisplit) para las tres zonas, en las butacas se tienen 4 equipos ubicados a los costados del auditorio con una capacidad de 12,000 BTU/hr cada uno, con un total de 48,000 BTU/hr.

En la cabina y oficina también se cuenta con minisplit de 12,000 BTU/hr.

En general los equipos actuales se pueden resumir en la siguiente tabla en donde se observan las características:

UNIDADES CONDENSADORAS EDIFICIO B.										
MARCA	CANTIDAD	V/F/Hz	CAPACIDAD NOMINAL DE ENFRIAMIENTO POR UNIDAD.				CONSUMO ENERGETICO POR UNIDAD.		EFICIENCIA ENERGETICA POR UNIDAD	
			TR	BTU/hr	HP	KWt	[A]	KWe	SEER [Btu/Wh]	REE [Wt/We]
YORK	3	220/3/60	1	12 000	4.71	3.51	5.40	1.20	10	2.92

Tabla 3.5 Unidades condensadoras en la azotea del edificio B. Elaboración propia.

UNIDADES CONDENSADORAS EDIFICIO D.										
MARCA	CANTIDAD	V/F/Hz	CAPACIDAD NOMINAL DE ENFRIAMIENTO POR UNIDAD.				CONSUMO ENERGETICO POR UNIDAD.		EFICIENCIA ENERGETICA	
			TR	BTU/hr	HP	KWt	[A]	KWe	SEER [Btu/Wh]	REE [Wt/We]
YORK	6	220/3/60	1	12000	4.71	3.51	5.40	1.20	10	2.92

Tabla 3.6 Unidades condensadoras en la azotea del edificio D. Elaboración propia.

Lo anterior se resume a que en el Edificio B en donde se encuentra la sala de computo se tiene 3 sistemas individuales con un consumo total 3.60 kW teniendo una eficiencia SEER 10.

En el Edificio D en donde se encuentra el auditorio se tienen 6 sistemas individuales con un consumo total 7.20 kW teniendo una eficiencia SEER 10.

Conocer el estado actual del sistema nos servirá para comparar el ahorro en propuesta de cambio de luminaria y como afecta a la selección de nuevo sistema de aire acondicionado.

3.2.1 Carga térmica actual.

La carga térmica en un espacio se obtiene considerando factores externos (climatológicos) y factores internos (número de personas, aparatos electrónicos o eléctricos, iluminación, etc.) que representen una generación de calor sensible o latente en un espacio determinado, aumentando la temperatura al interior de la zona y que es necesario tener controlado según los estándares o normas establecidas.

En la carga térmica influyen las propiedades térmicas de los materiales con los cuales está construido el edificio así como la carga emitida por iluminación.

La complejidad de un cálculo de carga térmica puede ser alta debido a todos los factores, cantidades y ecuaciones a considerar.

En este caso el análisis de carga térmica se realiza con el programa Autodesk Revit MEP 2016, que incluyendo datos de ubicación y factores de cargas (estandarizados) nos permite simular la instalación de aire acondicionado actual y así comprobar la carga generada por la iluminación actual.

En la tabla 3.7 se muestra un resumen de señala la carga térmica debida a la iluminación en las áreas de estudio del CEPE. Los resultados de los otros materiales son independientes a la iluminación y son constantes.

Área	Enfriamiento		Calentamiento	
	Carga (Btu/h)	Porcentaje del total	Carga (Btu/h)	Porcentaje del total
Auditorio	4,301	7.01%	0	0.00%
Sala computación	4,620	7.53%	0	0.00%
Total	8,921	14.54%	0	0%

Tabla 3.7 Resumen de la carga térmica debida a la iluminación. Elaboración propia.

3.3 Carga térmica con sistema de iluminación propuesto.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de la carga térmica generada por la iluminación propuesta. Los resultados del resto de los materiales son independientes a la iluminación y constantes con respecto al reporte anterior.

Área	Enfriamiento		Calentamiento	
	Carga (Btu/h)	Porcentaje del total	Carga (Btu/h)	Porcentaje del total
Auditorio	2,345	4.14%	0	0.00%
Sala computación	1,896	3.35%	0	0.00%
Total	4,241	7.49%	0	0%

Tabla 3.8. Cargas térmicas actuales de cada área. Elaboración propia.

Comparando la tablas finales se tiene que la carga térmica en iluminación disminuye un 51.51% que se traduce en una carga térmica de 4,680 (btu/h), lo que presenta un ahorro en la energía necesaria para el acondicionamiento en dichas zonas.

3.4 Sistema de aire acondicionado propuesto.

Retomando las cargas térmicas obtenidas y verificando capacidad de los equipos actualmente instalados se determinó que el sistema actual tiene la capacidad para abatir la carga térmica generada por el sistema de iluminación propuesto.

Se determinó que las unidades minisplit de la Cabina y Oficina ubicadas en el auditorio no son necesarias ya que el calor generado es menor al 10% de la capacidad nominal de algún equipo existente, por lo que tener funcionando un equipo en dichas áreas resulta en un gasto energético innecesario. Debido a lo anterior se ha decidido eliminar estas dos unidades del sistema.

Por otra parte se verificó que estos equipos cumplen con los requerimientos de eficiencia conforme a la Norma oficial mexicana NOM-023-ENER-2010, la cual en su capítulo 6 establece la relación de eficiencia energética en equipos de aire dividido.

Capacidad de Enfriamiento		Relación de eficiencias Energéticas	
Watts	BTU/h	W_t/W_e	BTU/Wh
Menor o igual a 19 050	De 3 413 hasta 65 001	2,72	9,3

Tabla 3.9 Niveles mínimos de relación de eficiencia energética (REE) en equipos de aire tipo dividido. NOM-023-ENER-2010.

3.5 Control del sistema de aire acondicionado.

Para un uso eficiente de los equipos existentes se propone la instalación de termostatos programables, en el cual se definan los horarios de programación de acuerdo a un itinerario de eventos en el Auditorio. Esto permitirá que en dichos horarios se esté censando la temperatura, y cuando la temperatura salga de la zona de confort (22°C) este mande una señal digital a la condensadora y encienda el equipo para aclimatar la zona.

Puede ser instalado de forma independiente a cada equipo, localizándose el termostato digital en el área, 4 en Auditorio y 2 en Sala de Computo a 1.5 metros del nivel del suelo en un área con buena circulación de aire.

Como modelo de referencia se ocupó el Termostato programable FocuPRO TH6110 de la marca Honeywell, teniendo opciones de cambio de selección manual o cambio automático en el arranque y paro del equipo.

Capítulo 4 Análisis

4.1 Análisis del sistema actual.

4.1.1 Carga eléctrica instalada.

Retomando lo especificado en las secciones 2.2 y 3.2, actualmente el CEPE cuenta con una carga instalada de 32.881 kW pertenecientes a la iluminación y una carga de 10.8 kW correspondientes a aire acondicionado.

Considerando los factores de potencia de las luminarias y equipo de aire acondicionado, se han estimado las potencias demandadas por ambos sistemas, obteniendo los resultados mostrados en las tablas 4.1 y 4.2.

Lámpara	Número de luminarios	Potencia por luminario (W)	Potencia total (W)	FP	ϕ	TAN ϕ	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVar)	Potencia Aparente (kVA)
T12 2X75	99	180	17820	0.9	25.8	0.48	17.820	8.63061	19.800
T12 2X60	20	86	1720	0.9	25.8	0.48	1.720	.83303	1.91111
T12 2X39	5	98	490	0.95	18.2	0.33	.490	.16105	.51578
T8 3X32	3	86	258	0.9	25.8	0.48	.258	.12495	.28666
T8 2X32	45	59	2655	0.9	25.8	0.48	2.655	1.28587	2.950
T8 1X32	70	30	2100	0.9	25.8	0.48	2.100	1.01707	2.33333
T8 8X32	5	236	1180	0.9	25.8	0.48	1.180	.57150	1.31111
T5 2X21	1	50	50	1.0	11.5	0.20	.050	.01015	.05102
T5 1X28	4	33	132	1.0	0.0	0.00	.132	0	.132
T5 2X28	66	62	4092	1.0	0.0	0.00	4.092	0	4.092
T5 3X14	12	50	600	1.0	0.0	0.00	.600	0	.600
FC 23	48	23	1104	1.0	0.0	0.00	1.104	0	1.104
FC 2X11	11	22	242	1.0	0.0	0.00	.242	0	.242
FC 1X13	1	13	13	1.0	0.0	0.00	.013	0	.013
HALOGENA 50	2	50	100	1.0	0.0	0.00	.100	0	.100
INCANDESCENTE 40	1	40	40	1.0	0.0	0.00	.040	0	.040
HALOGENA 40	6	40	240	1.0	0.0	0.00	.240	0	.240
LED 9W	5	9	45	1.0	0.0	0.00	.045	0	.045

Tabla 4.1. Potencias demandadas por el sistema de iluminación. Elaboración propia.

Equipo	Número de equipos	Potencia por equipo (W)	Potencia total (W)	FP	ϕ	TAN ϕ	Potencia Activa (kW)	Potencia Aparente (kVA)	Potencia Reactiva (kVAr)
YORK	9	1200	10800	0.8	36.9	0.75	10.800	13.500	8.100

Tabla 4.2 Potencias demandadas por el sistema de aire acondicionado. Elaboración propia.

Para saber el FP teórico se sumaron las potencias activas (P) y reactivas (Q) demandadas por el sistema. Sabiendo que $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ se obtuvo la potencia aparente. Finalmente, el factor de potencia se obtuvo de la siguiente manera: $fp = \frac{P}{S}$. Lo obtenido se puede resumir en la siguiente tabla:

Potencia Activa (P) [kW]	Potencia Reactiva (Q) [kVAr]	Potencia Aparente (S) [kVA]	FP
43.681	20.734	43.951	0.90

Tabla 4.3 Potencias demandadas y factor de potencia del sistema actual. Elaboración propia.

El levantamiento eléctrico realizado por PAE determinó que la carga instalada en todo el CEPE es de 275.427 kVA lo que quiere decir que la carga instalada de los sistemas en estudio representa el 16% de la carga total.

4.1.2 Consumo y costo eléctrico.

La Comisión Federal de Electricidad establece los tipos de tarifa y costos. En el caso de Ciudad Universitaria CU, la energía eléctrica es suministrada en media tensión 23 kV y distribuida a través de subestaciones cuya demanda es mayor a los 100 kW, razón por la cual, la tarifa en toda CU y en específico del CEPE es HM. Para poder hacer el cálculo del consumo eléctrico mensual y anual, CFE realiza la suma del cargo por kWh de demanda facturable y la energía consumida de acuerdo al periodo.

La energía consumida por el sistema se ha calculado de la siguiente manera:

$$E_{\text{cons}} [\text{kWh}] = P [\text{kW}] * H [\text{hr}] \quad (4.1)$$

Donde:

P = Potencia demandada por el Sistema.

H = Tiempo de demanda.

El costo por la energía consumida se calculó de la siguiente manera:

$$\text{\$}E_{\text{cons}} [\text{\$}] = E_{\text{cons}} [\text{kWh}] * \text{Precio} [\text{\$/kWh}] \quad (4.2)$$

Donde:

Econs = Energía consumida

Precio = Precio por kWh en el periodo de consumo.

Los periodos de consumo se encuentran divididos por horarios los cuales se muestran a continuación.

HORARIO DE VERANO			
Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre			
DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00	20:00 - 22:00
		22:00 - 24:00	
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

Tabla 4.4 Horario de verano. Recuperado de <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifa>

HORARIO DE INVIERNO			
Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril			
DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00	18:00 - 22:00
		22:00 - 24:00	
sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00	19:00 - 21:00
		21:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

Tabla 4.5. Horario de invierno. Recuperado de <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifa>

Las tarifas para los periodos y meses del año 2015 se muestran en la tabla 4.6 .

MES	Cargo por kW	Cargo por kWh de energía		
	DEMANDA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
Enero	181.85	0.9682	1.16	2.04
Febrero	184.54	0.9092	1.0874	2.0003
Marzo	185.41	0.8326	0.9958	1.9279
Abril	186.24	0.7687	0.9194	1.8647
Mayo	187.41	0.7484	0.8951	1.8483
Junio	188.07	0.7212	0.8626	1.8209
Julio	188.67	0.7129	0.8527	1.8143
Agosto	189.58	0.7192	0.8602	1.8265
Septiembre	191.27	0.7868	0.9411	1.9142
Octubre	193.74	0.7412	0.8866	1.8765
Noviembre	194.53	0.6859	0.8205	1.8163
Diciembre	194.51	0.6072	0.7263	1.7202

Tabla 4.6. Tarifas por periodo y mes correspondientes al año 2015. Recuperado de <http://app.cfe.gob.mx>

Para poder determinar el consumo eléctrico anual, se determinaron primeramente, las horas de trabajo del CEPE. En el caso de los salones, se ocupan en promedio 8 horas al día, de lunes a viernes en un horario de 7 am a 10 pm. El auditorio, por otro lado, se ocupa 8 horas al mes, lo que resulta en 2 horas a la semana.

Los equipos de aire acondicionado pertenecientes a la sala de cómputo se utilizan en promedio 2 horas al día y los del auditorio se ocupan 2 horas a la semana.

Estas horas se sumaron las correspondientes a los periodos base, intermedia y punta. Enseguida, se determinaron los días laborables por mes en los que los salones y auditorio son utilizados. Finalmente, se obtuvo el consumo mensual, el costo por éste y el de la demanda facturable. Lo obtenido de lo anterior, se puede resumir en la siguiente tabla:

Mes	Consumo Mensual de Energía			Costo por Consumo Mensual de la Energía				Costo de la Energía Demandada	Costo de consumo Total
	Base	Intermedia	Punta	Base	Intermedia	Punta	Total		
	kWh	kWh	kWh	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Enero	0	2,781.852	1,511.22	0	3,199.12	3,084.55	6,283.68	7,943.39	14,227.07
Febrero	0	2,781.852	1,511.22	0	3,004.40	3,022.44	6,026.84	8,060.89	14,087.73
Marzo	0	2,781.852	1,511.22	0	2,754.03	2,901.54	5,655.57	8,098.89	13,754.47
Abril	0	3,285.592	1,007.48	0	2,989.88	1,873.91	4,863.80	8,135.15	12,998.95
Mayo	0	3,285.592	1,007.48	0	2,924.17	1,853.76	4,777.94	8,186.26	12,964.20
Junio	0	3,602.236	1,108.22	0	3,097.92	2,016.97	5,114.89	8,215.09	13,329.98
Julio	0	1,385.728	402.992	0	1,177.86	729.41	1,907.28	8,241.29	10,148.58
Agosto	0	3,443.914	1,057.85	0	2,961.76	1,925.29	4,887.06	8,281.04	13,168.10
Sept.	0	3,285.592	1,007.48	0	3,088.45	1,924.28	5,012.74	8,354.86	13,367.61
Octubre	0	3,048.122	1,662.34	0	2,682.34	3,108.57	5,790.92	8,462.76	14,253.68
Nov.	0	2,655.917	1,435.65	0	2,177.85	2,598.54	4,776.39	8,497.26	13,273.66
Dic.	0	1,317.367	680.049	0	948.50	1,169.68	2,118.18	8,496.39	10,614.58
Total	0	33,655.616	13,903.2	0	31,006.3	26,208.9	57,215.3	98,973.2	156,188.62

Tabla 4.7. Costo calculado del consumo mensual y anual para el año 2015. Elaboración propia.

Como se puede apreciar, el consumo anual de energía del sistema de iluminación y aire acondicionado del CEPE fue de 47.558 MWh. El costo por consumo anual de los sistemas de iluminación y aire acondicionado para el año 2015 fue de \$ 156,188.62.

4.1.3 Eficacia.

Como se indicó en el inciso 1.4.3 la eficacia de una lámpara es la relación entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica consumida. Se decidió determinar la eficacia del sistema actual, pues es una forma de saber cuánta de nuestra energía está siendo utilizada para generar energía luminosa. La eficacia de un sistema de iluminación es un indicador de la eficiencia del mismo.

A modo de ejemplo se muestra el procedimiento para obtener la eficacia en el salón 21. Este procedimiento fue el mismo para los demás locales. De acuerdo con el método de los lúmenes, el flujo luminoso en el plano de trabajo, se obtiene mediante:

$$\phi[lm] = \frac{I(lx) * S(m^2)}{CU * fm} \quad 4.3$$

Dónde:

I [lx] = Iluminancia promedio medida en el plano de trabajo.

S [m²] = Superficie en estudio.

CU = coeficiente de utilización obtenido.

fm = Factor de mantenimiento.

Para el salón 21, los datos son los siguientes:

I = 228 [lx] S = 33.98 [m²] CU= 0.83 fm=0.8

Sustituyendo en la fórmula 4.3 se obtuvo que el flujo luminoso en el plano de trabajo del salón 21 es el siguiente:

$$\phi[lm] = \frac{228 (lx) * 33.98 (m^2)}{0.83 * 0.8} = 11667.83 [lm]$$

El coeficiente de utilización se obtuvo mediante el procedimiento descrito en el apartado 1.8.2 y se utilizó la tabla de coeficientes de una luminaria semejante a las instaladas actualmente.

El procedimiento anterior se realizó para cada local. Enseguida se obtuvo la potencia suministrada a todo el sistema y mediante la fórmula 1.1 se obtuvo la eficacia del sistema. De esta manera, se obtuvo lo expresado a continuación.

Flujo Luminoso en el plano de trabajo [lm]	Potencia demandada por el sistema de iluminación [W]	Eficacia [lm/W]
627,016.71	32,881	19.06

Tabla 4.8 Eficacia del sistema de iluminación. Elaboración propia.

4.1.4 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases que contribuyen al denominado efecto invernadero. El efecto invernadero es un fenómeno en el que los GEI evitan que parte de la energía solar que ingresa al planeta, salga de la atmósfera.

Los GEI son necesarios para la vida, porque ayudan a mantener la superficie de la Tierra a cierta temperatura. Sin embargo, si la concentración de estos gases aumenta, también se incrementa la temperatura¹⁴.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provocadas por la actividad humana están generando un aumento en la temperatura del planeta y con ello, alteraciones que pueden afectar de manera peligrosa el sistema climático, estimulando cambios en la precipitación y elevación del nivel del mar.

¹⁴ Guía de metodologías y medidas de mitigación de GEI para la elaboración de programas estatales de acción ante el cambio climático. Instituto Nacional de Ecología.

Se consideran seis GEI como los más importantes:

1. Bióxido de carbono (CO₂)
2. Metano (CH₄)
3. Óxido nitroso (N₂O)
4. Hidrofluorocarbonos (HFC)
5. Perfluorocarbonos (PFC)
6. Hexafluoruro de azufre (SF₆)

Los GEI emitidos se reportan en toneladas métricas de bióxido de carbono equivalente (tCO₂e). Para realizar esta equivalencia, es necesario convertir la emisión de cada gas de efecto invernadero a unidades de bióxido de carbono equivalente (CO₂e) usando para ello el potencial de calentamiento global de cada gas.

Este potencial se define como el factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad de un determinado gas de efecto invernadero en relación con una unidad de CO₂¹⁵.

Para cuantificar las emisiones de GEI derivadas del consumo de energía eléctrica, se cuantifica el consumo de energía eléctrica y se estima el factor de emisión derivado del proceso de generación de electricidad. Este factor se determina mediante ecuaciones determinadas por la IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) y año con año la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) lo calcula. Para el 2014, el factor fue de:

$$0.454 \text{ TonCO}_2/\text{MWh}.$$

De acuerdo con la *guía para la cuantificación de GEI y de consumos energéticos evitados por el aprovechamiento sustentable de la energía* publicada por la CONUEE¹⁶, la estimación de emisiones de GEI por consumo de electricidad se calcula de acuerdo con:

$$E_g = \text{Celec} * F_{\text{Eelect}} \quad (4.4)$$

Donde:

Celec = Consumo anual de energía eléctrica expresado en MWh

F_{Eelect} = Factor de emisión para electricidad expresado en TonCO₂/MWh

Apoyándonos en la tabla 4.7, podemos saber que la energía anual consumida por el CEPE es de 47.558 MWh. Sustituyendo en la Fórmula 4.4 podemos saber que la generación indirecta de GEI debido al sistema de iluminación actual es de:

$$E_g = (47.558 \text{ MWh}) * (0.454 \text{ TonCO}_2/\text{MWh})$$

$$E_g = 21.6 \text{ TonCO}_2$$

¹⁵ Teoría y conceptos generales para elaborar inventarios verificables de emisiones de gases de efecto invernadero. SEMARNAT

¹⁶ Metodologías para la cuantificación de emisiones de gases de Efecto Invernadero y de consumos energéticos evitados por el aprovechamiento sustentable de la Energía. CONUEE

4.2 Análisis del sistema propuesto

4.2.1 Carga eléctrica instalada.

Considerando los factores de potencia de las luminarias y equipo de aire acondicionado, se han podido calcular las potencias demandadas por ambos sistemas resultando en lo mostrado en las siguientes tablas.

Lámpara	Número de luminarios	Potencia por luminario [W]	Potencia total [W]	FP	ϕ	TAN ϕ	Potencia Activa (kW)	Potencia Aparente (kVA)	Potencia Reactiva (kVAr)
GE LED	299	16	4,784	1	0.0	0.00	4.784	4.784	0
GE LED	28	20	560	1	0.0	0.00	.560	.560	0
LITHONIA DOWNLIGHT	49	9	441	1	0.0	0.00	.441	.441	0
LITHONIA DOWNLIGHT	12	14	168	1	0.0	0.00	.168	.168	0
LITHONIA DOWNLIGHT	12	22	264	1	0.0	0.00	.264	.264	0
LITHONIA	87	54	4,698	1	0.0	0.00	4.698	4.698	0
HOLOPHANE	6	118	708	1	0.0	0.00	.708	.708	0
ILLUX LED PAR	27	16	432	1	0.0	0.00	.432	.432	0
TECHNOLITE LED	6	5	30	1	0.0	0.00	.030	.030	0

Tabla 4.9 Potencias demandadas por el sistema de iluminación. Elaboración propia.

Equipo	Número de equipos	Potencia por equipo	Potencia total	FP	ϕ	TAN ϕ	Potencia Activa (kW)	Potencia Aparente (kVA)	Potencia Reactiva (kVAr)
YORK	7	1,200	8,400	0.8	36.9	0.75	8.400	10.500	6.300

Tabla 4.10. Potencias demandadas por el sistema de aire acondicionado. Elaboración propia.

La carga eléctrica instalada de los sistemas de iluminación y aire acondicionado propuestos es de 20.485 kW.

Para saber el FP teórico se sumaron las potencias activas (P) y reactivas (Q) demandadas por el sistema. Sabiendo que $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ se obtuvo la potencia aparente. Finalmente, el factor de potencia se obtuvo de la siguiente manera: $fp = \frac{P}{S}$. Lo obtenido se puede resumir en la siguiente tabla:

Potencia Activa [kW]	Potencia Reactiva [kVAr]	Potencia Aparente [kVA]	FP
20.485	6.300	21.431	0.96

Tabla 4.11. Potencias demandadas y factor de potencia del sistema propuesto. Elaboración propia.

4.2.2 Consumo y costo eléctrico.

Para el cálculo del consumo y costo eléctrico se realizó lo descrito en el apartado 4.1.2. La tabla 4.th muestra los consumos y costos correspondientes al año 2015 para el sistema de iluminación y aire acondicionado propuesto.

Mes	Consumo Mensual de Energía			Costo por Consumo Mensual de la Energía				Costo de la Energía Demandada	Costo de consumo Total
	Base	Intermedia	Punta	Base	Intermedia	Punta	Total		
	kWh	kWh	kWh	\$	\$	\$	\$		
Enero	0	1,248.20	632.04	0	1,435.43	1,290.05	2,725.49	3,725.20	6,450.69
Febrero	0	1,248.20	632.04	0	1,348.06	1,264.08	2,612.14	3,780.30	6,392.45
Marzo	0	1,248.20	632.04	0	1,235.72	1,213.51	2,449.24	3,798.12	6,247.37
Abril	0	1,458.88	421.36	0	1,327.58	783.72	2,111.31	3,815.13	5,926.44
Mayo	0	1,458.88	421.36	0	1,298.41	775.30	2,073.71	3,839.09	5,912.81
Junio	0	1,599.69	463.49	0	1,375.73	843.56	2,219.30	3,852.61	6,071.92
Julio	0	614.04	168.54	0	521.93	305.06	826.99	3,864.90	4,691.90
Agosto	0	1,529.29	442.42	0	1,315.19	805.21	2,120.41	3,883.55	6,003.96
Sept.	0	1,458.88	421.36	0	1,371.35	804.79	2,176.15	3,918.17	6,094.32
Octubre	0	1,367.94	695.24	0	1,203.79	1,300.10	2,503.90	3,968.76	6,472.66
Nov.	0	1,195.53	600.43	0	980.34	1,086.79	2,067.13	3,984.95	6,052.08
Dic.	0	589.63	284.41	0	424.53	489.19	913.73	3,984.54	4,898.28
Total	0	15,017.44	5,814.76	0	13,838.12	10,961.42	24,799.54	46,415.32	71,214.87

Tabla 4.12 Costo calculado del consumo mensual y anual para el año 2015. Elaboración propia.

Como se puede apreciar, el consumo anual de energía del sistema de iluminación y aire acondicionado del CEPE habría sido de 20.832 MWh. El costo por el consumo anual de los sistemas de iluminación y aire acondicionado propuestos para el año 2015 habría sido de \$ 71,214.87.

4.2.3 Eficacia.

El procedimiento anterior realizado en cada local para la obtención de la eficacia del sistema de iluminación fue el descrito en el apartado 4.1.3.

Flujo Luminoso en el plano de trabajo [lm]	Potencia demandada por el sistema de iluminación [W]	Eficacia [lm/W]
901,779.30	12,085	74.62

Tabla 4.13 Eficacia del sistema de iluminación propuesto. Elaboración propia.

La eficacia del sistema de iluminación propuesto se puede apreciar en la Tabla 4.13

4.2.4 Gases de Efecto Invernadero

Con los parámetros y fórmulas descritas en el apartado 4.1.4 se calcularon los GEI que hubiera producido el sistema propuesto durante el año 2015.

En la tabla 4.12 se aprecia que el consumo anual en 2015 del sistema propuesto hubiera ascendido a 20.832 MWh, por lo que los GEI emitidos hubieran sido:

$$E_g = (20.832 \text{ MWh}) * (0.454 \text{ TonCO}_2/\text{MWh})$$

$$E_g = 9.45 \text{ TonCO}_2$$

4.2.5 Análisis económico.

Para este proyecto, la inversión inicial consta de tres factores:

- 1-. Inversión en materiales y mano de obra para remodelación en los lugares donde se requiera.
- 2-. Costo de mano de obra para el cambio e instalación de luminarias.
- 3-. Inversión en la compra de las luminarias y sensores propuestos.

Para determinar los precios unitarios de los rubros anteriores, se ha hecho uso de un software en línea. Así mismo, se investigó en el mercado los costos con diferentes proveedores.

Al final del análisis económico se obtuvo el tiempo simple de recuperación y el tiempo de vida del proyecto. Es de suma importancia realizar un análisis económico, pues con éste es que se determina la viabilidad del proyecto.

Esta propuesta se ha proyectado de tal forma que los luminarios actuales en el CEPE sean de utilidad y sólo deba cambiarse la lámpara. Sin embargo, el plafón de los salones 2 a 13, sala de cómputo, sala de profesores y baños en el edificio B así como el de los baños del edificio A deben ser reemplazados debido a que los luminarios propuestos son de menor tamaño a los existentes.

El área aproximada correspondiente a éstos espacios es de 700 m² por lo que la inversión en remodelación sería la indicada en la siguiente tabla:

Concepto	Costo por m ²	Área a remodelar [m ²]	Total
Colocación de plafón de TABLAROCA con material y mano de obra incluidos.	\$ 230.00	700	\$ 161,000.00

Tabla 4.14 Inversión por concepto de colocación de plafón y mano de obra. Elaboración propia.

Para el costo de la sustitución de luminarias se cotizaron 2 cuadrillas compuestas de 1 oficial electricista y 1 ayudante por 20 días¹⁷. De esta manera, el costo por concepto de mano de obra es el siguiente:

Concepto	Número de trabajadores	Costo por jornada por trabajador	Jornadas totales	Total
Oficial electricista	2	\$ 460.00	20	\$ 18,400.00
Ayudante	2	\$ 250.00	20	\$ 10,000.00
Total	4	\$ 710.00	20	\$ 28,400.00

Tabla 4.15 Costo por concepto de mano de obra. Elaboración propia.

¹⁷ Precios unitarios recuperados de: <http://www.insucons.com/mx>

Los precios por unitarios de cada luminaria y sensor fueron solicitados al fabricante. En la tabla 4.16 se muestra la inversión para las luminarias y sensores propuestos.

Concepto	Precio unitario	Número de piezas	Total
GE LED	\$ 237.60	299	\$ 71,042.40
GE LED	\$ 324.40	28	\$ 9,083.20
Lithonia downlight LED	\$ 2,015.00	49	\$ 98,735.00
Lithonia downlight LED	\$ 2,227.50	12	\$ 2,6730.00
Lithonia downlight LED	\$ 2,430.00	12	\$ 29,160.00
Lithonia	\$ 1,260.00	87	\$ 109,620.00
Holophane	\$ 1,950.00	6	\$ 11,700.00
Illux LED PAR	\$ 747.45	27	\$ 20,181.15
Technolite LED	\$ 112.68	6	\$ 676.08
Sensor PIR B-ticino	\$ 1,083.00	12	\$ 12,996.00
Termostato Honeywell	\$ 900	6	\$ 5,400.00
TOTAL	\$11,304.00	526	\$ 376,927.83

Tabla 4.16 Precio unitario de cada luminaria. Elaboración propia.

Una vez cotizado lo anterior, podemos realizar la suma de los tres rubros para, de éste modo saber la inversión inicial del proyecto.

$$\text{Inversión inicial} = \$ 161,000.00 + \$ 28,400.00 + \$ 376,927.83$$

$$\text{Inversión inicial} = \$ 584,723.83$$

- **Periodo simple de recuperación (PSR).**

El periodo simple de recuperación de la inversión se define como el cociente de la inversión inicial y lo ahorrado en facturación eléctrica.

El ahorro económico anual debido a la propuesta se puede determinar mediante la sustracción del costo de la energía eléctrica con el sistema actual y el costo de la energía eléctrica con el sistema propuesto. Haciendo uso de lo obtenido en los incisos 4.1.2 y 4.2.2 el ahorro económico es de:

$$\text{Ahorro anual} = \text{Costo actual anual} - \text{Costo del sistema propuesto anual}$$

$$\text{Ahorro anual} = \$ 156,188.62 - \$ 71,214.87$$

$$\text{Ahorro anual} = \$ 84,973.75$$

Podemos saber entonces el periodo simple de recuperación.

$$\text{PSR} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ahorro Anual}} = \frac{\$ 584,723.83}{\$ 84,973.75}$$

$$\text{PSR} = 6.8 \text{ años}$$

El gráfico 4.1 ilustra el tiempo de recuperación simple de la inversión así como el ahorro año con año.

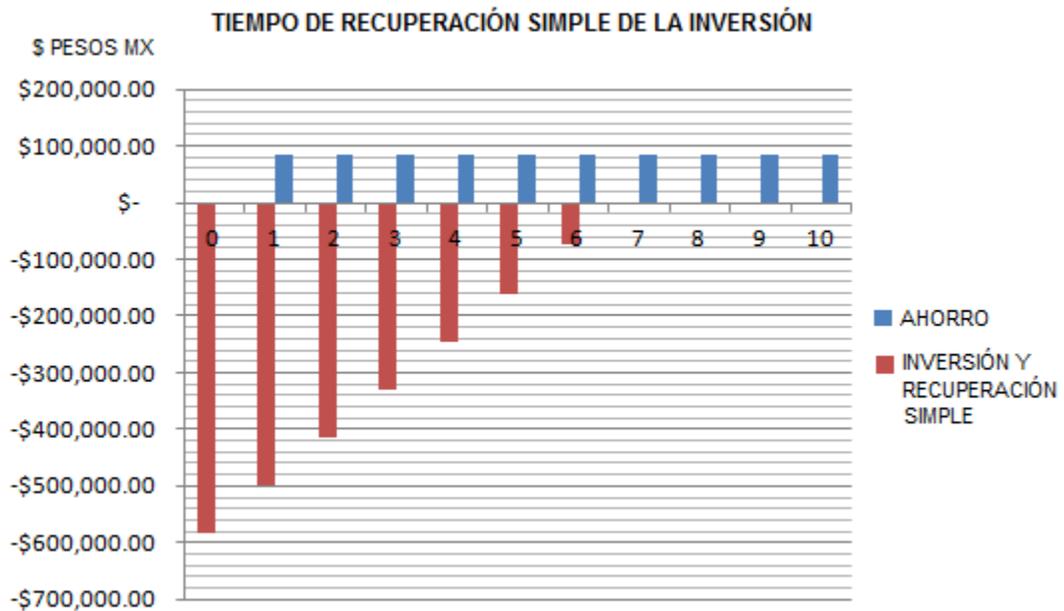


Gráfico 4.1 Tiempo de recuperación simple de la inversión. Elaboración propia.

- **Vida del proyecto**

Para poder determinar la vida del proyecto, se ha decidido utilizar la vida útil de las lámparas. De esta manera será posible saber el tiempo que durarán hasta necesitar ser reemplazadas.

Suponiendo que las lámparas se encienden por un tiempo igual a 8 horas al día y que durante el año se tienen 217 días laborables, los cuales se tomaron en consideración para el cálculo del consumo y costo eléctrico anual, se obtiene que las lámparas funcionan en total 1736 horas a lo largo de año.

Las lámparas T5 propuestas tienen una vida útil de 25 000 horas. Podemos saber el número de años que pueden durar, de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo de vida de las lámparas} = \frac{\text{Vida útil}}{\text{Horas de funcionamiento al año}} = \frac{25\ 000}{1736}$$

$$\text{Tiempo de vida de las lámparas} = 14.4 \text{ años}$$

Las lámparas T5 entonces, tendrán una vida de alrededor de 15 años. En el caso de la lámpara LED propuesta, su vida útil promedio es de 45 000 horas, lo que equivale a 26 años de vida.

Se consideró como tiempo de vida del proyecto la vida de las lámparas T5, esto por ser las de menor duración.

Tiempo de vida del proyecto = 15 años

Lo anterior quiere decir que, los primeros 6.8 años del proyecto el ahorro económico se irá en recuperar la inversión inicial, a partir de ahí, se tendrán 8.2 años de ahorro económico hasta que las

lámparas T5 comienzan a fallar. Las lámparas LED comenzarán a fallar 19 años después de que la inversión inicial se haya recuperado.

4.3 Comparativo

Con lo descrito en los apartados y capítulos anteriores, se puede realizar un comparativo entre el sistema actual y el propuesto.

Como primer comparativo, el número de tecnologías luminosas existentes en CEPE se logra reducir de 4 a 2, es decir, un 50%. En tipo de lámpara se reduce de 7 a 2, un 71%. Los gráficos 4.2 y 4.3 son la representación de lo anterior.

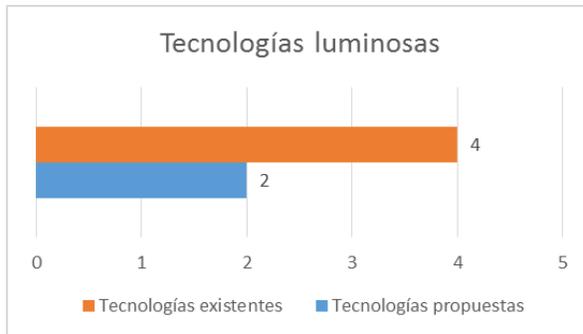


Gráfico 4.2 Tecnologías luminosas actuales y propuestas.

Reducción del 50% en tecnologías luminosas

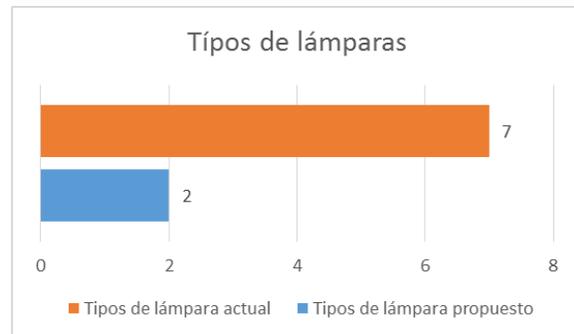


Gráfico 4.3 Tipos de lámparas actuales y propuestas.

Reducción del 71% en tipos de lámpara

4.3.1 Niveles de iluminación

Como se puede observar en la tabla 2.cv, de las 22 áreas de trabajo existentes en CEPE divididas por edificio, sólo 10 de ellas cumplían con normativas vigentes. Con el sistema propuesto, se ha logrado que las 22 áreas de trabajo cumplan con normatividad.



Gráfico 4.4 Cumplimiento de normatividad del sistema actual.



Gráfico 4.5 Cumplimiento de normatividad del sistema propuesto.

A partir de lo visible en los gráficos 4.4 y 4.5, con el sistema de iluminación propuesto, notamos que hay un incremento del 54.55 % de las áreas de trabajo que logran cumplir con normatividad. Lo anterior se traduce en un mayor confort visual y mayor eficiencia del sistema de iluminación.

4.3.2 Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado

Las tablas siguientes resultan de la comparación de lo obtenido en los apartados 2.2.3 y 2.3.4. La tabla 4.17 es la comparación de la DPEA obtenida con el sistema de iluminación actual y propuesto para cada edificio. La tabla 4.18 es la misma comparación, pero para las áreas exteriores de los edificios. Finalmente, la tabla 4.19 es la reducción de la DPEA expresada en porcentaje.

Sistema de iluminación	DPEA [W/m ²]					
	Edificio A	Máximos Permitidos NOM	Edificio B	Máximos Permitidos NOM	Edificio D	Máximos Permitidos NOM
Actual	7.72	14	78.22	14	28.2	15
Propuesto	4.9	14	6.4	14	5.6	15

Tabla 4.17 Comparación de la DPEA obtenida con el sistema de iluminación actual y propuesto. Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, con el sistema actual sólo el edificio A cumple con los DPEA máximos establecidos por la NOM-007-ENER-2014. Con el sistema propuesto, todos los edificios cumplen con la normatividad.

Áreas exteriores	DPEA [W/m ²]					
	EDIFICIO A	MAX. PERMITIDOS NOM	EDIFICIO B	MAX. PERMITIDOS NOM	EDIFICIO D	MAX. PERMITIDOS NOM
sistema actual	6.72	1.3	9.92	1.3	79.48	1.3
sistema propuesto	1.93	1.3	2.07	1.3	2.77	1.3

Tabla 4.18 Comparación de la DPEA obtenida con el sistema de iluminación actual y propuesto en las áreas exteriores. Elaboración propia.

En la sección 2.2.3 se estableció que uno de los objetivos de este trabajo sería lograr la reducción de la DPEA y, como puede apreciarse en las tablas 4.17 y 4.18, se ha logrado éste objetivo. Si bien es cierto que las áreas exteriores siguen sin cumplir con norma, los edificios en conjunto, se encuentran por debajo de los niveles máximos permitidos lo cual, es aceptado por la NOM-007-ENER-2014.

En la tabla siguiente se puede apreciar la reducción de la DPEA debido al sistema propuesto. Las unidades se encuentran expresadas en porcentaje.

	Edificio A	Edificio B	Edificio D
REDUCCIÓN DEL DPEA	36.52 %	91.81 %	80.14 %

Tabla 4.19 Reducción del DPEA en porcentaje. Elaboración propia.

4.3.3 Eficacia

Comparando la eficacia del sistema actual obtenida en el inciso 4.1.3 con la eficacia del sistema propuesto obtenida en el inciso 4.2.3 se puede determinar que existe un aumento del 391% en la eficacia del sistema.

Sistema de Iluminación	Eficacia [lm/W]
Actual	19.06
Propuesto	74.62

Tabla 4.20 Eficacia de los sistemas de iluminación.

Incremento del 391% en la eficacia del sistema.



Gráfico 4.6 Comparativa de eficacia.

4.3.4 Carga eléctrica instalada

La comparación de la carga eléctrica instalada y la disminución de la misma se muestran a continuación. Esta carga es la suma de la carga instalada perteneciente al sistema de iluminación y la carga perteneciente al sistema de aire acondicionado.

	Carga eléctrica instalada [kW]
Sistema actual	43.681
Sistema propuesto	20.485

Tabla 4.21 Carga eléctrica instalada

Se redujo un 46.89% la carga eléctrica instalada de iluminación y aire acondicionado. .

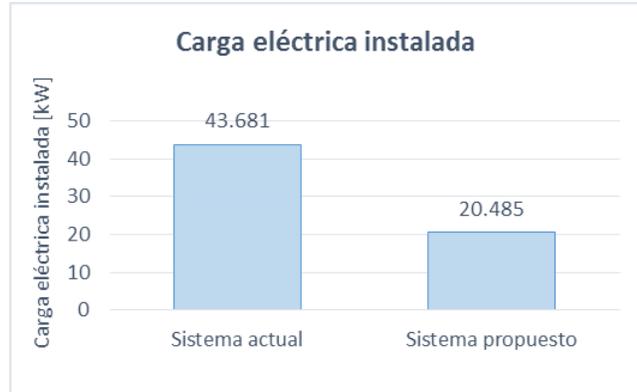


Gráfico 4.7 Reducción en la carga instalada de iluminación y aire acondicionado.

4.3.5 Consumo eléctrico

El consumo eléctrico anual debido al sistema actual es de 47.558 [MWh] mientras que para el sistema propuesto es de 20.832 [MWh]. Al año se dejan de consumir 26.726 [MWh] es decir, el 56.19 % del consumo actual.

	consumo eléctrico anual [MWh]
sistema actual	47.558
sistema propuesto	20.832

Tabla 4.22 Consumo eléctrico anual

El consumo eléctrico anual se reduce en un 56.19 %.

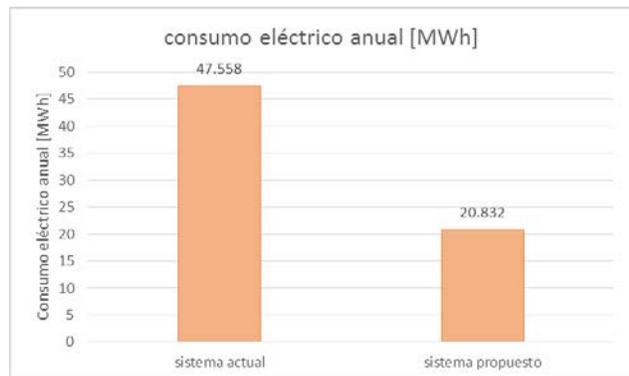


Gráfico 4.8 Reducción en la carga eléctrica instalada.

4.3.6 Costo eléctrico

El costo eléctrico anual debido al sistema actual es de \$ 156,188.62 mientras que para el sistema propuesto es de \$ 71,241.87. La diferencia de costos mes con mes para el año 2015 se muestran a continuación.

Ahorro	
Monetario	Porcentual
\$ 84,973.75	54.4 %

Tabla 4.23 Ahorro monetario porcentual

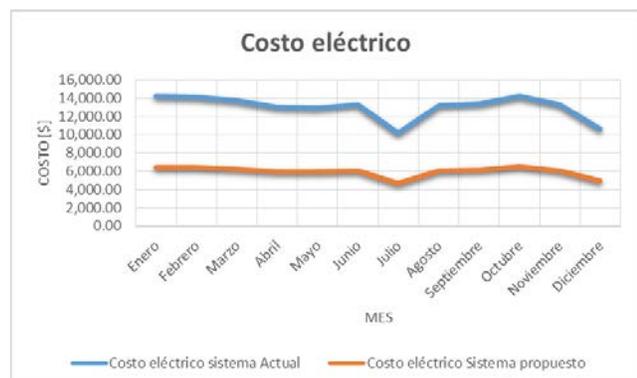


Gráfico 4.9 Comparación de la reducción de costo eléctrico mes con mes.

Con la implementación del sistema propuesto se tendría un ahorro de \$ 84,973.75 que es el 54.4% de lo que se factura anualmente.

4.3.7 GEI

Se sabe, por lo calculado en el inciso 4.1.4 que al año, el sistema actual genera 21.6 TonCO₂ mientras que el sistema propuesto generaría 9.45 TonCO₂. Esto quiere decir que anualmente se dejarían de emitir:

12.15 TonCO₂

Toneladas de CO₂ equivalente anuales que se dejan de emitir a la atmosfera.

Capítulo 5 Conclusiones y Reflexiones.

- Se analizó el sistema de iluminación y aire acondicionado actual del CEPE
- Se detectaron las áreas de oportunidad de ahorro y uso eficiente de la energía, tales como el uso de sensores, termostatos y cambio de tecnología en iluminación.
- Se realizó la evaluación técnica de las medidas de ahorro de energía propuestas. A partir de la evaluación realizada fue posible saber que con el sistema propuesto:
 - Se reduce la carga eléctrica instalada en un 47%.
 - La facturación eléctrica se reduce en un 54%.
 - Se dejan de emitir 12.15 toneladas de CO2 anualmente.
 - La eficacia del sistema de iluminación aumenta en un 391%
 - Los niveles de iluminación, DPEA, uniformidad y deslumbramiento se encuentran dentro de parámetros aceptados por las normatividades nacionales e internacionales vigentes.
 - El sistema de aire acondicionado cumple con la SEER determinada.
- Conforme a lo observado en el desarrollo de la tesis y para los parámetros de deslumbramiento y uniformidad, las Normas Oficiales Mexicanas carecen de metodología y criterios para su análisis.
- La tecnología LED es la más avanzada en el mercado y, como se logró demostrar en éste trabajo, se logra reducir la DPEA en una gran cantidad. Por esta razón y dado que el resto de las tecnologías desaparecerán, esta tesis cree que una actualización de la NOM-007-ENER-2014 sería adecuada.
- El acercamiento a los fabricantes de luminarias fue complicado debido a que, se le otorga mayor importancia a la cotización y abastecimiento a los proyectos privados o del sector público.
- La falta de experiencia del Estudiante hace que el proceso de proyección sea más tardado. Un acercamiento a la industria y mayor relación entre la Facultad y los sectores público y privado sería muy bueno, puesto que, dotaría al estudiante de las herramientas necesarias para poder salir al mercado laboral con mayor preparación.
- Actualmente el uso de software facilita la proyección y minimiza los tiempos de análisis y cálculos.
- La investigación y lectura de los temas afines a ésta tesis fueron de vital importancia, por lo que, gracias a ésta tesis se ha logrado un aprendizaje.

Todo lo anterior hace que el objetivo principal de ésta tesis se haya logrado. Se redujo el uso y consumo de la energía en el CEPE mediante la propuesta de un nuevo sistema de iluminación y aire acondicionado bajo normativa y estándares vigentes logrando así, un ahorro y uso eficiente de la energía.

Bibliografía

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2004). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2004*. Atlanta: ASHRAE.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2013). *ASHRAE Handbook fundamentals*. USA.
- Bticino. (2012). *Catálogo de control de iluminación*.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2009). *Metodologías para la Cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero*. México D.F.
- Commission Internationale de L'Eclairage. (2007). *Calculation and presentation of the standard CIE UGR table for indoor lighting luminaires*. Vienna, Austria: CIE Central Bureau.
- Fundación de la energía de la comunidad de Madrid. (2015). *Guía sobre tecnología LED en el alumbrado*. Madrid, España: BOCM.
- Genertek S.A de C.V. (s.f.). *Calculo de iluminación en interiores*. México D.F.
- Harper, G. E. (2015). *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*. México DF: Limusa.
- Herranz Dorremocha, C., Ma Ollé Martorell, J., & Jáuregui Sora, F. (2015). La iluminación con LED y el problema de la contaminación lumínica. *Astronomía*, 8.
- Illuminating Engineering Society of North America. (2000). *The IESNA lighting handbook*. New York: IESNA.
- Indalux Iluminación Técnica S.L. (2002). *Manual de Luminotecnia Indalux*. España.
- Instituto de educación Superior de Llerena. (s.f.). *Introducción a la luminotecnia*. Llerena, España.
- Instituto Nacional de Ecología . (s.f.). *Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de programas estatales de acción ante el cambio climático*. México D.F.
- International Organization for Standardization. (2002). *ISO8995:2002 Lighting of Indoor Work Places*. Switzerland: ISO copyright office.
- Monroy, M. M. (2006). *Manual de la Iluminación*. Gran Canaria, España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Muller, C. (2010). *Manual de aire acondicionado y calefacción*. México: Alfaomega Grupo editor.
- Philips Lighting Holanda. (2004). *La iluminación en el trabajo: Efectos visuales y biológicos*. . Holanda.
- Secretaría de Energía. (2010). *NOM-023-ENER-2010 Eficiencia Energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, método de prueba y etiquetado*. . Diario Oficial de la Federación.

- Secretaria de Energia. (2014). *NOM-007-ENER-2014 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales*. México, D.F: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales . (2015). *Teoría y conceptos generales para elaborar inventarios verificables de emisiones de gases de efecto invernadero*. México D.F.
- Secretaria del Trabajo y Previsión Social. (2008). *NOM-025-STPS-2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*. México D.F: Diario Oficial de la Federación.
- Strack, J. L., Suarez, J. A., & Jacob, S. (2012). *LÁMPARAS LEDs: Análisis técnico-ecnómico y su impacto en los sistemas eléctricos de potencia*. Mar de plata, Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Universidad Nacional Autónoma de México . (2009). *Norma Oficial Universitaria*.
- Universidad Politecnica de Valencia. (s.f.). *Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes*. Valencia, España.
- Universidad Tecnologica de Pereira. (2012). *Guía para el diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando Dialux*. Pereira, Colombia.
- Virginia Tech Transportation Institute. (s.f.). Glare modeling formulae. Blacksburg, Virginia, EUA.
- Westinghouse Electric Corporation. (s.f.). *Lighting handbook*. México D.F.: Mediciencia editora mexicana S.A DE C.V.

Mesografía

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/cuantica/experiencias/espectro/espectro.html

<http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/>

<http://francor.com.mx/niveles-de-iluminacion-en-areas-de-trabajo/>

<http://www.caloryfrio.com>

Anexos

- LUMINARIA EMPOTRADA, GABINETE DE 1.20x0.30m CON LAMPARAS LED
- 19 DE 0x0.6 m, 27V, 80W, CON DIFUSOR DE ACRILICO
- LUMINARIA EMPOTRADA, GABINETE DE 1.30x0.30m CON LAMPARAS LED
- 18 DE 0.20x0.6, 27V, 80 W, CON DIFUSOR DE ACRILICO
- LUMINARIA EMPOTRADA, GABINETE DE 1.70x0.30m CON LAMPARAS LED
- 15 DE 0.25x0.6, 127V, 80W, CON DIFUSOR DE ACRILICO

- LUMINARIA EMPOTRADA, GABINETE DE 0.90x0.90m, CON LAMPARAS FLUORESCENTES
- 15 DE 20x26m, 127V, 80W, CON DIFUSOR ACRILICO

- LUMINARIA EMPOTRADA, GABINETE DE 0.90x0.90m, CON LAMPARAS FLUORESCENTES
- 15 DE 20x26m, 127V, 80W, CON DIFUSOR ACRILICO
- LUMINARIA EMPOTRADA, DOWNLIGHT DE 0.18m DE DIAMETRO,
- CON LAMPARAS LED DE 9W, 127V, 80W
- LUMINARIA EMPOTRADA, DOWNLIGHT DE 0.18m DE DIAMETRO,
- CON LAMPARAS LED DE 14W, 127V, 80W

LUMINARIA EMPOTRADA, DOWNLIGHT DE 0.18m DE DIAMETRO,

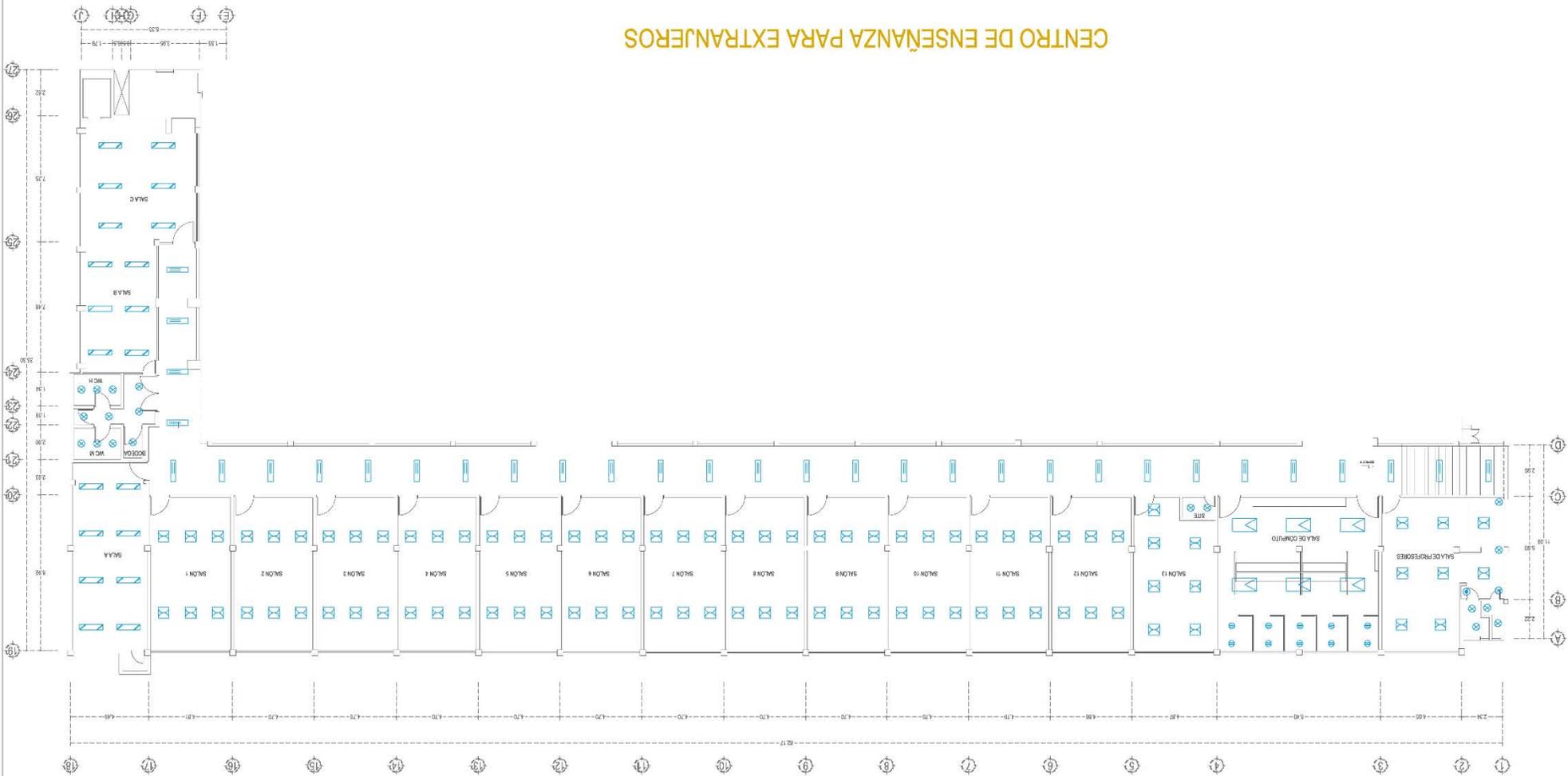


PROYECTO	RENOVACION DE LA SALA DE CLASES Y LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERIA EN SISTEMAS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
CLIENTE	UNAM
FECHA	15/08/2018
ESCALA	1:50



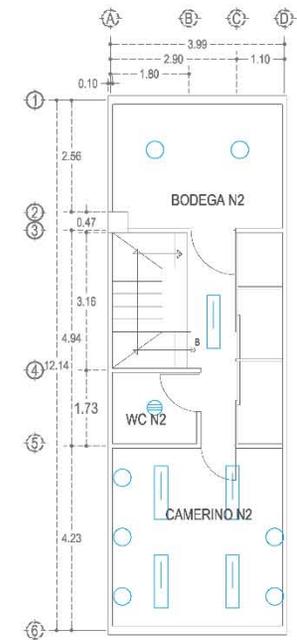
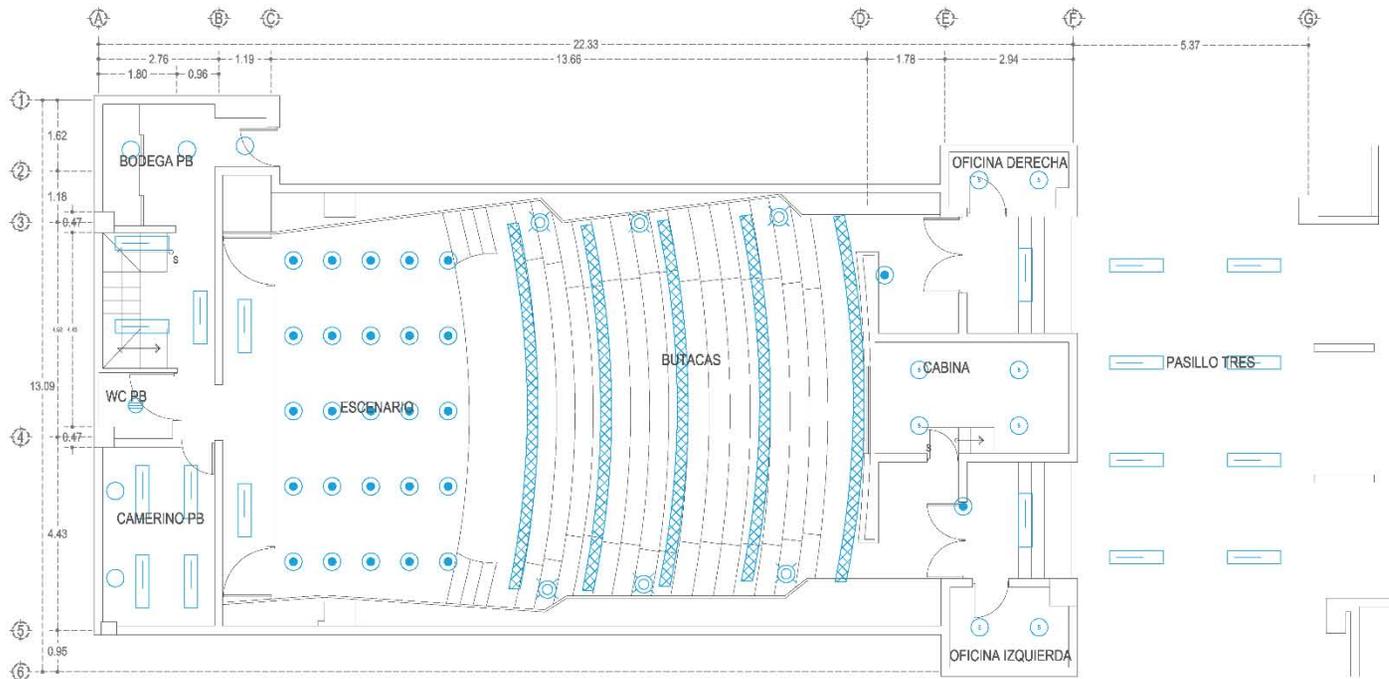
EDIFICIO B

CENTRO DE ENSEÑANZA PARA EXTRANJEROS



A. AUDITORIO, PLANTA BAJA

A. AUDITORIO, NIVEL 1



CENTRO DE ENSEÑANZA PARA EXTRANJEROS

EDIFICIO D

SIMBOLOGÍA

LUMINARIA EMPOTRADA, CABINETE DE 125x63mm CON LÁMPARA LED DE 1x16 W, 12V, 60Hz, CON DIFUSOR DE ACRÍLICO

LUMINARIA EMPOTRADA, CON LÁMPARAS FLUORESCENTES LED T8 DE 6x32 W, 12V, 60 Hz, CON DIFUSOR DE ACRÍLICO.

LUMINARIA EMPOTRADA, DOWNLIGHT DE Ø 16cm DE DIÁMETRO, CON LÁMPARAS LED DE 9W, 12V, 60Hz.

LUMINARIA EMPOTRADA, DOWNLIGHT DE Ø 16cm DE DIÁMETRO, CON LÁMPARAS LED DE 14W, 12V, 60Hz.

LUMINARIA EMPOTRADA, DOWNLIGHT DE Ø 18cm DE DIÁMETRO, CON LÁMPARAS LED DE 22W, 12V, 60Hz.

LÁMPARA LED DE 7 W, 12V, 60 Hz.

LUMINARIA EMPOTRADA, DOWNLIGHT DE Ø 60mm DE DIÁMETRO, CON LÁMPARA LED DE 3W, 12V, 60Hz.

	PROYECTO	EDIFICIO D	DISEÑO	Yago Toral
	DESCRIPCIÓN	PLANTA DE LA PLANTA BAJA DEL AUDITORIO PARA EXTRANJEROS DE LA UNAM	FECHA	14/07/24
	UBICACIÓN	CARRANZA	ESCALA	1:100
	OTRAS	VERBS		

GE
Lighting

LED Tube T8 HE

Características y Beneficios

- ¡No require driver!
- Alta Eficacia, hasta 100 LPW
- ¡Fácil Instalación!
- Hasta 50% de ahorro de energía vs lámparas fluorescentes
- 40,000 horas de vida útil
- Tensión de entrada de 100 a 240 V
- No contiene mercurio



HOJA TÉCNICA

Datos técnicos

SKU	Descripción	Voltaje (V)	Potencia (W)	Lúmenes (lm)	Eficacia (lm/W)	Angulo de apertura	IRC	Temp. de Color (K)	Bulbo	Base	Vida L70 (hrs)	Reemplazo	Piezas por caja	Clasificación movilidad
65746	LED08T8I840AH	100-240V	8W	800	100	150°	>80	4,000	T8	G13	40,000	LFL 17W T8	30	MTS
65747	LED08T8I865AH	100-240V	8W	800	100	150°	>80	6,500	T8	G13	40,000	LFL 17W T8	30	MTS
65749	LED10T8I840AH	100-240V	10W	1,000	100	150°	>80	4,000	T8	G13	40,000	LFL 17W T8	30	MTS
65750	LED10T8I865AH	100-240V	10W	1,000	100	150°	>80	6,500	T8	G13	40,000	LFL 17W T8	30	MTS
65751	LED16T8I830AH	100-240V	16W	1,450	91	150°	>80	3,000	T8	G13	40,000	LFL 32W T8	30	MTS
65752	LED16T8I840AH	100-240V	16W	1,600	100	150°	>80	4,000	T8	G13	40,000	LFL 32W T8	30	MTS
65753	LED16T8I865AH	100-240V	16W	1,600	100	150°	>80	6,500	T8	G13	40,000	LFL 32W T8	30	MTS
65776	LED20T8I840AH	100-240V	20W	2,050	103	150°	>80	4,000	T8	G13	30,000	LFL 32W T8	30	MTS
65778	LED20T8I865AH	100-240V	20W	2,050	103	150°	>80	6,500	T8	G13	30,000	LFL 32W T8	30	MTS



Catalog Number	
Notes	
Type	

FEATURES & SPECIFICATIONS

INTENDED USE — LED downlight for retrofit of installed 6" nominal commercial "pan-style" housings with incandescent, compact fluorescent (CFL), or high intensity discharge (HID) sources. Compatible range is 5 3/4" to 6 7/8". All installation can be performed from the room side without removing the existing fixture. Multiple lumen packages to replace the installed base of CFL or HID sources with energy savings up to 50%. See Lumen Equivalency Chart.

CONSTRUCTION — Innovative housing design that simultaneously retaining and centers the fixture in the existing mounting pan.

OPTICS — LED light source with diffuse lens recessed in a reflector with a 55-degree cutoff. Aluminum full reflectors are optically designed to maximize lumen output and to provide superior glare control.

Anodized trim colors for open reflectors are clear diffuse, pewter or wheat. White polyester powder coat also available.

Minimum CRI of 80.

ELECTRICAL — Proprietary electrical design allows for excellent line voltage dimming down to 10% light output on 120V product. The zero in rush design enables maximum loading of incandescent dimmers. This enables customers to add dimming of a low cost without pulling additional wires. For compatible dimmers and dimming range, refer to Dimmer Compatibility Chart.

The system maintains 70% lumen output at more than 50,000 hours.

LISTINGS — CSA certified to US and Canadian safety standards. Wet location listed. ENERGY STAR® certified.

WARRANTY — 5-year limited warranty. Complete warranty terms located at www.acuitybrands.com/CustomerResources/Terms_and_conditions.aspx

Note: Actual performance may differ as a result of end-user environment and application.

All values are design or typical values, measured under laboratory conditions at 25 °C.

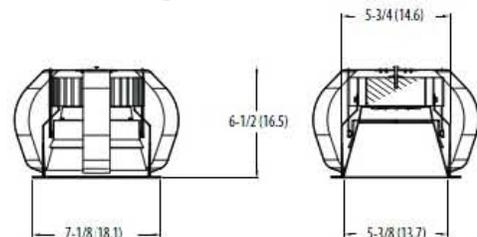
Specifications subject to change without notice.

LUMEN EQUIVALENCY CHART*						
	RV6 35/06		RV6 35/10		RV6 35/15	
	120V	277V	120V	277V	120V	277V
Delivered lumens (lm)	615	790	900	1200	1475	1580
Nominal wattage (W)	9	10.5	14	16	22.5	23
Comparable fluorescent	18W CFL		26W CFL		32W CFL	
Comparable incandescent	65W BR30		120W BR40		150W A21	
Comparable halogen PAR	50W		75W		90W	

* Data based on LM-79 test reports.

RV6 LED

6" OPEN LED
Non-IC
Retrofit Downlight



Specifications

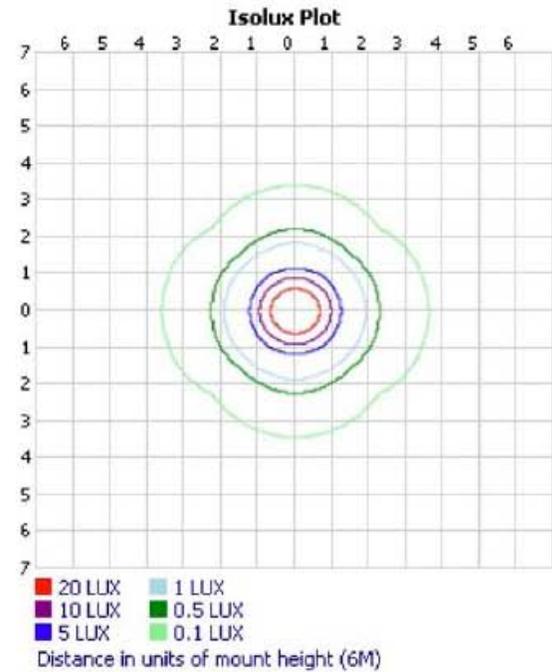
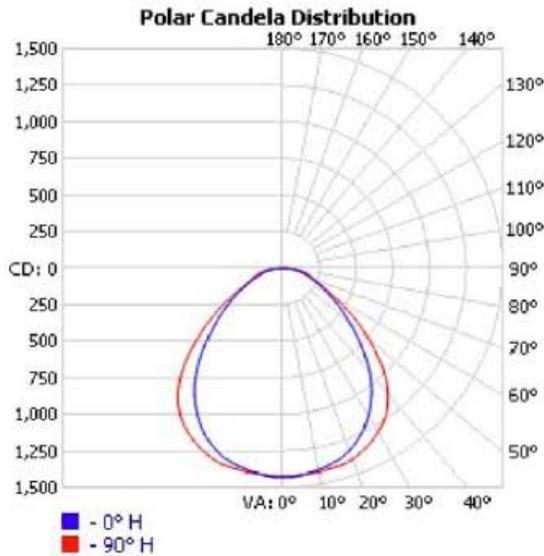
Aperture:	5-5/16 (13.5)	Max. ceiling opening:	6-7/8 (17.5)
Overlap trim:	7-1/8 (18.1)	Min. ceiling opening:	5-3/4 (14.6)
Height:	6-1/2 (16.5)	Max. ceiling thickness:	2 (5.1)
Length:	7 (17.8)		

All dimensions are inches (centimeters) unless otherwise indicated.

INDOOR PHOTOMETRIC REPORT

CATALOG: 2SP 2 24T5HO A12

TEST #: LTL17002
 TEST LAB: ACUITY BRANDS LIGHTING CONYERS LAB
 TEST DATE: 10/27/2008
 CATALOG: 2SP 2 24T5HO A12
 DESCRIPTION: SPECIFICATION PREMIUM TROFFER, 2'X2', WITH TWO LAMPS AND #A12 ACRYLIC LENS
 SERIES: SP
 LAMP CAT #: F24T5/HO
 LAMP: TWO 24-WATT T5 HIGH OUTPUT LINEAR FLUORESCENT
 LAMP OUTPUT: 2 LAMPS, RATED LUMENS/LAMP: 2000
 BALLAST / DRIVER: GEB10PS, QTP2X39-24T5 HO UNV PSN _DISTRIBUTION DIRECT _FIXTURE_TYPE 2X2 LENSED _BALLAST_TYPE ELECTRONIC _LAMP_TYPE T5HO LINEAR _LAMP_WATTS 24
 INPUT WATTAGE: 54.2
 LUMINOUS OPENING: RECTANGLE (L: 0.53M, W: 0.53M)
 CIE CLASS: DIRECT
 MAX CD: 1,430.0 AT HORIZONTAL: 0°, VERTICAL: 2.5°
 SPACING CRITERION: @ 0 = 1.21 / @ 90 = 1.34
 EFFICIENCY: 87%



INDOOR PHOTOMETRIC REPORT

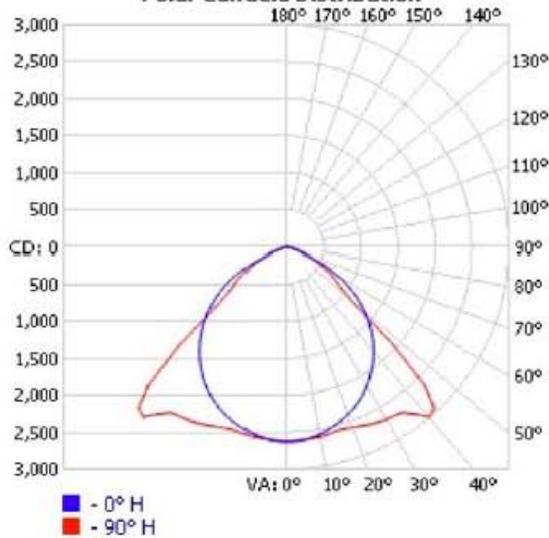
CATALOG: 2HP G B 2 54T5HO 12LD MVOLT OSPS

TEST #: LTL17504
 TEST LAB: ACUITY BRANDS LIGHTING CONYERS LAB
 TEST DATE: 4/3/2009
 CATALOG: 2HP G B 2 54T5HO 12LD MVOLT OSPS
 DESCRIPTION: PARAMAX PARABOLIC TROFFER, 2'X4', 2-LAMP 54W T5HO, 12-CELL, 3" SEMI-SPECULAR LOUVER, ELECTRONIC BALLAST
 SERIES: 2HP SERIES
 LAMP CAT #: F54T5/841 HO ALTO
 LAMP: TWO 54-WATT LINEAR FLUORESCENT T5HO, HORIZONTAL POS.
 LAMP OUTPUT: 2 LAMPS, RATED LUMENS/LAMP: 4450
 BALLAST / DRIVER: QTP2X54T5HO/UNS PSN, ELECTRONIC, PROGRAM START, 1.0 BALLAST FACTOR
 INPUT WATTAGE: 117.1
 LUMINOUS OPENING: RECTANGLE (L: 1.14M, W: 0.53M)
 TER VALUE: 53 (BF = 1)
 TER CATEGORY: RECESSED, LINEAR
 CIE CLASS: DIRECT
 MAX CD: 2,988.0 AT HORIZONTAL: 90°, VERTICAL: 40°
 SPACING CRITERION: @ 0 = 1.22 / @ 90 = 1.71
 EFFICIENCY: 76.3%

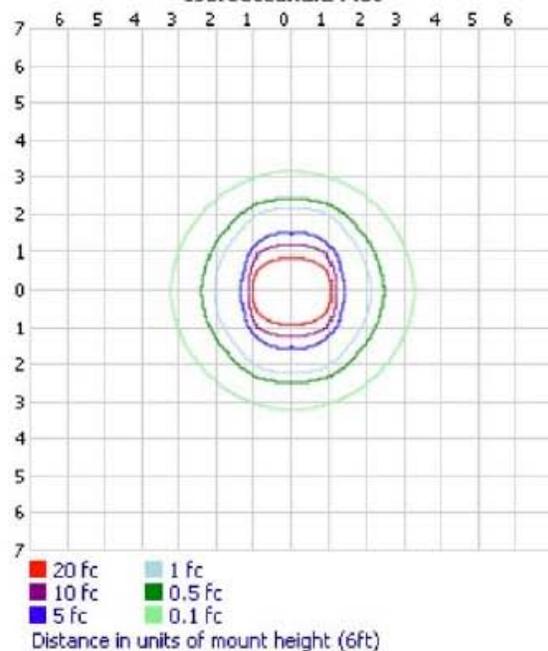
AcuityBrands.



Polar Candela Distribution



Isofootcandle Plot



DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Lámpara LED PAR38, 16W 90-220V, luz cálida, con una vida útil de 35000 hrs, y temperatura de color de 2700°

APLICACIONES

Idóneo para la iluminación general y decorativa en el sector de hostelería, así como en el hogar.

BASE



E26

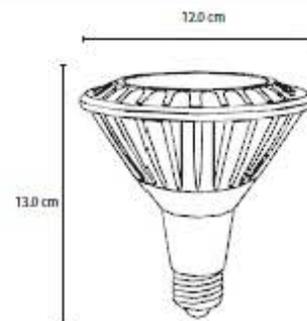
EQUIVALENCIA



PRODUCTO



DIAGRAMA



SIMBOLOGIA

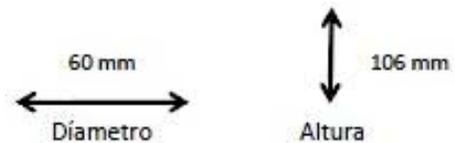




FICHA TÉCNICA LAMPARAS DE LED

Tecno Lite
LA LUZ ES TUYA

A19-LED/02/5W/30



CARACTERÍSTICAS

Material de la carcasa	Cristal
Terminado	Cristal
Distribución de luz	300 °
Tipo de bulbo	A
Base	E-27

PARAMETROS ELÉCTRICOS

Modelo (s)	A19-LED/02/5W/30
Tensión Nominal [V~]	100-240 V~
Consumo de potencia [W]	5 W
Frecuencia Nominal [Hz]	50/60 Hz
Consumo de Corriente [A]	0.08 A
Factor de Potencia [f.p.]	0.5
Flujo luminoso [lm]	470 lm
Temperatura de color [K]	3 000 K
Color de Luz	Luz de día
Angulo de Apertura [°]	300 °
IRC	80
Temperatura de Operación	-10 - 40 °C

BENEFICIOS:

Horas de vida [h]	15 000 h
Atenuable	No
Garantía	3 AÑOS
NOM	NOM-030