UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE ENERGÍA

Evaluación normativa y energética de la sustitución de tecnología fluorescente por LED en el sistema de iluminación del Edificio A, Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
LICENCIATURA EN:

INGENIERÍA EN SISTEMAS ENERGÉTICOS

P R E S E N T A :

César Romero Rodríguez

DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez
Profesor-Investigador del Programa de Energía, UACM

CODIRECTOR DE TESIS:
Dr. Carlos Chávez Baeza
Profesor-Investigador del Programa de Energía, UACM

Ciudad de México, diciembre de 2022.

UACM
Universidad Autónoma de la Ciudad de México
Nada humano me es ajeno

CA Coordinación Académica

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Integración del jurado:

Presidente:	Dr. Ma. Claudia Roldan Ahumada, UACM
Secretario:	Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez, UACM
Vocal:	Dr. Carlos Chávez Baeza, UACM
1er. Suplente:	Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas, UACM
2do. Suplente:	Dr. Edgar Vicente Torres González, UACM

Lugar donde se realizó la carrera:

PLANTEL SAN LORENZO TEZONCO, UACM

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez, UACM

Dedicatorias

Especialmente a mis abuelitos Modesto Romero Tinoco y Teresa Rodríguez González, por amarme y cuidarme como su fuera su hijo, a quien admire por su fortaleza y comprensión. Recorrer lugares con ustedes será mi mejor recuerdo, sus historias, canciones, aventuras y chistes constantemente están presentes. Nos faltó tiempo, pero sé que desde el cielo me seguirán cuidando, siempre estarán en mi corazón.

A mi mamá Magdalena Romero Rodríguez, por amarme y apoyarme, eres el impulso para seguir esforzándome, el carácter y humor que te caracterizan siempre serán mi motivación. Te amo.

A Odily Nolasco Díaz, por permitirme ser parte de tu vida, por ser mi amor y estar conmigo sin soltar mi mano festejando mis logros por pequeños que estos sean, por acompañarme en cada paso que doy. Tu apoyo incondicional, tu paciencia y tus palabras de aliento ayudan a querer ser mejor día con día. Eres una gran mujer.

Finalmente, a mis compañeros y amigos, que siempre consiguen sacarme una sonrisa con sus ocurrencias.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, por darme un lugar y permitirme la oportunidad de superarme académicamente, especialmente al Programa de Energía.

Particularmente, quiero agradecer a mi codirector de tesis, el Dr. Carlos Chávez Baeza, por su invaluable apoyo y correcciones en el desarrollo de este trabajo. Por acertados comentarios, observaciones y por compartirme sus conocimientos.

A mi director de tesis, el Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez, por todo su tiempo, dedicación, esfuerzo y compromiso.

A los integrantes del jurado, la Dra. Ma. Claudia Roldan Ahumada, el Dr. Fernando Gabriel Arrollo Cabañas y el Dr. Edgar Vicente Torres González, por su tiempo y sus valiosas aportaciones a este trabajo.

Por último, al sistema de becas por otórgame las becas de estudios de licenciatura y de servicio social, así como el apoyo para impresión y/o empastado de este trabajo.

Índice

Introducción 1

Capítulo I. Marco contextual 4

1.1. Planteamiento del problema 5

1.2. Justificación 6

1.3. Objetivo general 7

1.4. Objetivos específicos 7

Capítulo II. Marco Teórico 8

2.1. Conceptos básicos de iluminación 8

2.1.1. Flujo luminoso 8

2.1.2. Intensidad luminosa 9

2.1.3. Iluminancia 10

2.1.4. Luminancia 11

2.1.5. Temperatura de color 11

2.1.6. Eficacia luminosa 12

2.2. Principios componentes de un sistema de iluminación 13

2.2.1. Luminarias 13

2.2.2. Lámparas Fluorescentes 15

2.2.3. Lámparas LED 16

2.2.4. Beneficios de utilizar tecnología LED 18

2.3. Normativas Oficiales Mexicanas (NOM) 19

2.3.1. NOM-025-STPS-2008 19

2.3.2. NOM-007-ENER-2014 20

Capítulo III. Metodología 22
3.1. Áreas de estudio del Edificio A de la UACM Plantel SLT 22
3.2. Censo de la energía consumida por el sistema de iluminación de la UACM 24
3.3. Niveles de iluminación requeridos para el edificio A de la UACM 28
3.3.1. Método para evaluar los niveles de iluminación 29
3.3.2. Medición de los niveles de iluminación 36
3.4. Indicador de eficiencia energética requerido para el edificio A 38
3.4.1. Método de cálculo de densidad de potencia eléctrica para alumbrado DPEA 39
3.5. Procedimiento para la sustitución de lámparas Fluorescentes por LEDs 40
3.6. Metodología de sustitución de lámparas (paso a paso) 43
Capítulo IV. Desarrollo 53
4.1. Nivel de iluminación con lámparas fluorescentes 53
4.1.1. Nivel de iluminación en aulas 53
4.1.2. Nivel de iluminación en áreas administrativas 54
4.1.3. Nivel de iluminación en laboratorios, aulas de cómputo y talleres 56
4.2. Niveles de iluminación con lámparas LED 57
4.2.1. Nivel de iluminación en aulas 57
4.2.2. Niveles de iluminación en áreas administrativas 58
4.2.3. Nivel de iluminación en laboratorios, talleres y aulas de cómputo 59
4.3. Nivel de eficiencia energética con lámparas fluorescentes 60
4.3.1. Nivel de eficiencia energética en aulas 61
4.3.2 Nivel de eficiencia energética en áreas administrativas 61
4.3.3 Nivel de eficiencia energética en laboratorios, aulas de cómputo y talleres 62
4.4. Nivel de eficiencia energética con lámparas LED 63
4.4.1. Nivel de DPEA en aulas 64

4.4.2 Nivel de DPEA en áreas administrativas 64
4.4.3 Nivel de DPEA en laboratorios, aulas de cómputo y talleres 65
Capítulo V. Análisis de resultados 67
5.1. Ahorro de energía en el sistema de iluminación 67
5.2. Comparación de los niveles de iluminación 69
5.2.1. Niveles de iluminación en salones 71
5.2.2. Nivel de iluminación en áreas administrativas 72
5.2.3. Nivel de iluminación en laboratorios, talleres y aulas de cómputo 73
5.3. Comparación de los niveles de eficiencia energética en términos de DPEA 74
5.3.1. Nivel de la DPEA en aulas 76
5.3.2. Nivel de la DPEA en áreas administrativas 77
5.3.3. Nivel de la DPEA en laboratorios, talleres y aulas de cómputo 77
Conclusiones 79
Referencias bibliográficas 81
Anexos 84
Anexo 1. Ficha técnica de lámparas fluorescentes 84
Anexo 2. Ficha técnica de lámparas LED 85
Anexo 3. Catálogo de balastros 87
Anexo 4. Niveles de iluminación NOM-025-STPS-2008 92
Anexo 5. Manual luxómetro AMPROBE 95
Anexo 6. Formato de censo 102
Anexo 7. Tabla de DPEA, NOM-007-ENER-2014 103

Índice de Figuras

Figura 1. Flujo luminoso 8
Figura 2. Intensidad luminosa 9
Figura 3. Iluminancia 10
Figura 4. Luminancia 11
Figura 5. Temperatura de color 12
Figura 6. Tipos de lámparas 14
Figura 7. Elementos de una lámpara fluorescente 15
Figura 8. Elementos auxiliares de una lámpara fluorescente 16
Figura 9. Estructura de un tubo LED 17
Figura 10. Modelos de Balastros instalados en el sistema fluorescente del edificio A 26
Figura 11. Distribución general de las luminarias en salones 31
Figura 12. Ubicación de los puntos del nivel de iluminación en salones 32
Figura 13. Distribución de luminarias y puntos de medición final en salones 33
Figura 14. Distribución de luminarias y puntos de medición del aula de titulación 34
Figura 15. Distribución de luminarias y puntos para los laboratorios 34
Figura 16. Distribución de puntos en Registro escolar 35
Figura 17. Distribución de puntos en laboratorio de auto acceso (A-002) 36
Figura 18. Distribución de puntos en laboratorio de auto acceso (A-003) 36
Figura 19. Características del Luxómetro utilizado 37
Figura 20. Diagrama de flujo “Identificar” 41
Figura 21. Diagrama de flujo. “Sustitución de Lámparas” 42
Figura 22. Luminaria desenergizada 44
Figura 23. Representación del seguro en la luminaria 44
Figura 24. Luminaria abierta 45

Figura 25. Luminaria sin lámparas, tornillo que sostiene la canaleta 45
Figura 26. Luminaria sin canaleta 46
Figura 27. Bases, parte de la luminaria 46
Figura 28. Base con alambres amarillos 47
Figura 29. Base con alambres rojo y azul 47
Figura 30. Balastro 48
Figura 31. Cables de la instalación 48
Figura 32. Partes del sistema de la luminaria 49
Figura 33. Alambre Tierra 49
Figura 34. Cableado de la instalación 50
Figura 35. Luminaria reconectado 50
Figura 36. Luminaria con lámparas LED 51
Figura 37. Luminaria con lámparas LED encendidas 52

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Distribución de las zonas de trabajo por actividad, edificio A SLT 24
Gráfica 2. Nivel de iluminación con lámparas fluorescentes en salones en el edificio A 54
Gráfica 3. Niveles de iluminación con lámparas fluorescentes en áreas administrativas en el edificio A 55
Gráfica 4. Nivel de iluminación con lámparas fluorescentes en laboratorios, aulas de cómputo y talleres en el edificio A 56
Gráfica 5. Niveles de iluminación con lámparas LED en salones en el edificio A 58
Gráfica 6. Niveles de iluminación con lámparas LED en áreas administrativas en el edificio A 59

Gráfica 7. Niveles de iluminación con lámparas LED en laboratorios, talleres y aulas de cómputo en el edificio A 60

Gráfica 8. Energía consumida y ahorro por sustitución de lámparas en luminarias en el edificio A 68

Gráfica 9. Comparación de los niveles de iluminación en salones del edificio A 71

Gráfica 10. Comparación de los niveles de iluminación en áreas administrativas del edificio A 72

Gráfica 11. Comparación de los niveles de iluminación en Laboratorios, aulas de cómputo y talleres del edificio A 73

Gráfica 12. Niveles de eficiencia energética (DPEA) en salones del edificio A 76

Gráfica 13. Niveles de eficiencia energética (DPEA) en áreas administrativas en el edificio A 77

Gráfica 14. Niveles de eficiencia energética (DPEA) en laboratorios, talleres y aulas de cómputo edificio A 78

Índice de tablas

Tabla 1. Áreas de estudio del edificio A 23

Tabla 2. Energía consumida con lámparas fluorescentes 27

Tabla 3. Energía consumida con lámparas LED 28

Tabla 4. Niveles de Iluminación mínimos requeridos para el Edificio A 28

Tabla 5. Niveles de iluminación por área de trabajo para el edificio A 29

Tabla 6. Relación entre el índice de área y el número de zonas de Medición 30

Tabla 7. DPEA para escuelas y demás centros docentes 38

Tabla 8. Valores de DPEA para diferentes espacios pertenecientes a escuelas y demás centros docentes 38

Tabla 9. Eficiencia energética en aulas en el edificio A, con lámparas fluorescentes 61

Tabla 10. Eficiencia energética en áreas administrativas en el edificio A, con lámparas fluorescentes 61

Tabla 11. Eficiencia energética en aulas de cómputo, laboratorios y talleres en el edificio A, con lámparas fluorescentes 62

Tabla 12. Eficiencia energética en aulas en el edificio A, con lámparas LED 64

Tabla 13. Eficiencia energética en áreas administrativas en el edificio A, con lámparas LED 64

Tabla 14. Eficiencia energética en aulas de cómputo, laboratorios y talleres en el edificio A, con lámparas LED 65

Tabla 15. Facturación eléctrica 2020 Plantel San Lorenzo Tezonco, UACM 68

Tabla 16. Cumplimiento normativo de los niveles de iluminación en el edificio A 69

Tabla 17. Cumplimiento y Porcentaje debajo de la norma del DPEA obtenido en el edificio A 75

Introducción

El presente trabajo es la consecución de una serie de investigaciones realizadas por el Programa de Energía de la UACM (PEUACM), derivado de las problemáticas que ha presentado el sistema de iluminación, uno de los principales consumidores de energía en el Plantel San Lorenzo Tezonco, por lo que se ha buscado la implementación de las nuevas estrategias y tecnologías a fin de mejorar la eficiencia del sistema sin descuidar el confort y seguridad de sus ocupantes, mediante la verificación del cumplimiento de los estándares normativos respectivos.

Cabe señalar que el Plantel San Lorenzo Tezonco de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) se inauguró el 8 de septiembre de 2004, por lo que sus instalaciones tienen más de 18 años de antigüedad. El sistema de iluminación fue diseñado para operar con un control automático inteligente y lámparas fluorescentes T8 de alta eficiencia con balastro electrónico atenuable; sin embargo, por problemas administrativos con el contratista, el sistema inteligente no fue entregado en operación al 100% ni se dio la capacitación debida, ocasionando que el sistema opere de manera ineficientemente desde su inicio.

Con respecto a los niveles de iluminación, y tomando en cuenta una de las cualidades del sistema de control automático de iluminación, se encontró (en un estudio realizado en 2009), que el programa central maneja diferentes niveles de atenuación para reducir los consumos eléctricos, por ejemplo: en las aulas y laboratorios mantiene los rangos de atenuación a 50% durante el día y en la noche a 80%, mientras que la biblioteca y oficinas, el rango de atenuación no cambia y siempre se mantienen a 80%.

Las dificultades en la operatividad del sistema de iluminación provocaron que el programa central se volviera poco a poco inoperante y con ello la imposibilidad de controlar y distinguir los niveles de atenuación que se tiene en cada uno de los espacios del Plantel.

En este sentido, el presente trabajo tiene como propósito la valoración de los resultados de un proyecto piloto para la optimización del sistema de iluminación realizado en el edificio A

del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, en donde se llevó a cabo la sustitución de las lámparas fluorescentes T8 con balastro electrónico atenuable por lámparas LED T8 con balastro integrado no atenuable, tomando en cuenta el cumplimiento de la normatividad vigente sobre los niveles mínimos de iluminación en centro de trabajo (NOM-025-STPS-2008) y de eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales (NOM-ENER-007-2014), antes y después de la sustitución del sistema.

A fin de contextualizar la problemática detectada por el Programa de Energía en el sistema de iluminación del Plantel SLT de la UACM, en el Capítulo 1 se revisan los estudios previos realizados al sistema de iluminación, lo que da pie a la justificación y planteamiento de los objetivos del presente trabajo.

En el marco teórico, Capítulo 2, se presentan los conceptos básicos y principios generales de los sistemas de iluminación; asimismo, se exponen los requerimientos normativos y los procedimientos para su correcta evaluación.

La metodología para el análisis de las áreas de estudio, el censo de cargas del sistema de iluminación y la energía consumida por ambas tecnologías se presenta en el Capítulo 3. De igual forma se presentan los niveles requeridos de iluminación y la densidad de potencia eléctrica en alumbrado para el edificio A, así como los procedimientos para realizar la evaluación de las normas referidas.

En el Capítulo 4, se describen los pasos realizados para sustituir las lámparas fluorescentes por lámparas LED, tomando en cuenta las medidas de seguridad e identificando los equipos (lámparas fluorescentes y balastros) que se encuentren en buen estado para su reutilización en otras áreas del plantel, por lo que se elaboró un diagrama de flujo ejemplificando dicha sustitución. Por otro lado, se muestran las mediciones de los niveles de iluminación y la densidad de potencia eléctrica para el alumbrado obtenida, antes y después de la sustitución, y se comparan con los valores normativos para validar su grado de cumplimiento.

Finalmente, en el Capítulo 5 se realiza un análisis de los resultados obtenidos, en donde se comparan los valores registrados con ambas tecnologías a fin de evidenciar las mejoras en los niveles de iluminación y la disminución en el consumo de energía debido a la sustitución de las lámparas fluorescentes por lámparas LED en el edificio A.

Capítulo I. Marco contextual

Actualmente las políticas energéticas han priorizado acciones para encontrar la forma de hacer un uso más eficiente de la energía en instalaciones nuevas y existentes, desafío que beneficia tanto aspectos económicos como medioambientales. La calidad de energía y el ahorro energético son posibles soluciones que pretenden hacer frente a una futura crisis energética (CONANP, 2021).

De acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2020), el ahorro o eficiencia energética está fundamentado en el hecho de hacer un mejor uso de la energía; es decir, con menos cantidad de energía obtener los mismos resultados. Esto a través de la modificación de hábitos y la aplicación de nuevas tecnologías más eficientes, o con la combinación de ambas.

El presente trabajo es la consecución de una serie de investigaciones realizadas por el Programa de Energía de la UACM (PEUACM), como el diagnóstico energético realizado en el sistema de control automático de iluminación del Plantel San Lorenzo Tezonco en el 2009, en donde se detectaron fallas que provocaron un incremento del 52% en el consumo total de energía del plantel, por lo que debido a su obsolescencia se propuso inhabilitar el sistema inteligente de iluminación y en su lugar establecer una programación manual de apagado del sistema de iluminación, logrando abatir el consumo de energía y reducir la facturación eléctrica de manera significativa en los subsecuentes meses.

En el 2022, el PEUACM propuso un programa de servicio social, denominado programa para la optimización del sistema de iluminación realizado en el edificio A del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, como un proyecto piloto a fin de realizar la transición de tecnología en las luminarias, el cual fue conformado por estudiantes del Colegio de Ciencia y Tecnología de la licenciatura en Ingeniería en Sistemas Energéticos de la UACM, supervisado por profesores investigadores de la misma academia, trabajando en colaboración con el personal de la Coordinación de Obras y Conservación de la UACM (Roldan, 2021).

1.1. Planteamiento del problema

La iluminación es de gran importancia para el desarrollo de actividades sociales, comerciales e industriales, es por ello que el sistema de iluminación debe cumplir con condiciones adecuadas de eficiencia y calidad, para proporcionar un entorno visual bueno y confortable que permita realizar todas las actividades cotidianas sin dejar atrás aspectos de seguridad.

Una óptima iluminación en las instituciones académicas permite a profesores, alumnos y personal administrativo, desempeñar sus actividades de forma adecuada; sin embargo, para lograr niveles apropiados de iluminación de manera eficiente, además de asegurar el cumplimiento de los requerimientos normativos vigentes, es necesario tener un amplio conocimiento en temas de luminotecnia.

El sistema de iluminación en el Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM fue instalado hace más de 18 años con tecnología de vanguardia, llamada iluminación inteligente; sin embargo, investigaciones precedentes muestran que la dinámica de la institución impidió que el sistema inteligente funcione correctamente, donde se evidenciaron las problemáticas causadas por el tipo de sistema que se eligió (PEUACM, 2009), motivo por el cual ha sufrido modificaciones y se ha inhabilitado parte del sistema de control automático.

El presente estudio se centra en el Edificio A del Plantel, donde el sistema de iluminación representa el principal consumidor de energía, y no obstante que está equipado con lámparas fluorescentes T8 y balastros electrónicos atenuables, el hecho que el sistema inteligente funcione deficientemente, provoca que en ocasiones las luminarias se encuentren encendidas en horas donde no es necesario y, por ende, se presenten altos consumos de energía eléctrica. Por otro lado, se detectaron bajos niveles de iluminación por falta de mantenimiento, o por avería de alguna parte del circuito, lo que ocasiona que haya luminarias con lámparas fuera de operación.

El edificio A fue construido para la realización de actividades de todas las personas que forman parte de la institución, donde se han tenido modificaciones en algunas áreas al

cambiar de actividad. La edificación está constituida por salones de clase, áreas administrativas, aulas de cómputo, laboratorios y talleres, es por ello que es muy importante llevar a cabo una evaluación para tener un nivel adecuado de iluminación y eficiencia energética, a fin de hacer un mejor uso de la energía.

1.2. Justificación

Actualmente la problemática mundial de energía ha orillado a la búsqueda de nuevas tecnologías e implementación de medidas de ahorro, necesarias para mejorar el uso eficiente de la energía en los diferentes usos finales como la iluminación. Este proyecto está enfocado en la evaluación de un proyecto piloto para la transición de tecnología del alumbrado interior en las instalaciones del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, mediante la sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LED en el edificio A.

A partir del diagnóstico energético del sistema de iluminación en el plantel (PEUACM, 2009), se sabe que el sistema de iluminación inteligente nunca operó al 100% desde su instalación, ocasionando varias problemáticas del mismo sistema, motivo por el cual se han realizado diversas propuestas buscando implementar medidas de ahorro y el uso eficiente de energía, iniciando con la transición de tecnología en las luminarias del edificio A.

Con la sustitución de lámparas en las luminarias de la edificación se busca aumentar los niveles de iluminación, al tiempo de reducir el consumo energético, evidenciando las mejoras alcanzadas derivado de las modificaciones al sistema, logrando un ahorro económico al hacer un mejor manejo de la energía eléctrica, ello sin descuidar la operatividad del sistema y cumpliendo la normatividad.

En este contexto, las normas NOM-025-STPS-2008 y NOM-007-ENER-2014 aseguran un confort visual óptimo en los centros de trabajo y un uso eficiente de la energía eléctrica en los sistemas de alumbrado en edificios no residenciales, mediante el cumplimiento de los niveles mínimos de iluminación y del índice de eficiencia, respectivamente.

1.3. Objetivo general

Evaluar los resultados de un proyecto piloto para la optimización del sistema de iluminación realizado en el edificio A del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, derivado de la sustitución de las lámparas fluorescentes T8 con balastro electrónico atenuable por lámparas LED T8 con balastro integrado no atenuable, mediante las normas mexicanas de los niveles mínimos de iluminación en centro de trabajo (NOM-025-STPS-2008) y de eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales (NOM-ENER-007-2014), antes y después de la sustitución del sistema, así como los beneficios en el consumo energético.

1.4. Objetivos específicos

- Elaborar un diagrama de flujo que describa, paso a paso, el procedimiento para llevar a cabo la sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LED.
- Medir los niveles de iluminación con lámparas fluorescentes y lámparas LED conforme al procedimiento establecido en la NOM-025-STPS-2008.
- Determinar los valores de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) con lámparas fluorescentes y lámparas LED conforme al procedimiento establecido en la NOM-007-ENER-2004.
- Evaluar el ahorro en consumo de energía por la sustitución de la tecnología fluorescente por LED.

Capítulo II. Marco Teórico

Previo al análisis de los sistemas de iluminación es necesario conocer cuáles son sus principales componentes, así como los conceptos básicos empleados en el estudio de luminotecnia para lograr una mejor compresión y, por último, el procedimiento para evaluar el cumplimiento de las normas referenciadas en este trabajo.

2.1. Conceptos básicos de iluminación

La iluminación utiliza una serie de magnitudes para la representación cuantitativa de las propiedades, cualidades y características de las fuentes de luz, o de sus efectos luminosos o también llamada luminotecnia. Por tanto, “la luminotecnia es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación, es decir, es el arte de la iluminación artificial para fines específicos” (León, 2007).

2.1.1. Flujo luminoso

El flujo luminoso (Figura 1), es la magnitud que mide la energía de radiación luminosa y se puede interpretar de la siguiente manera: “Potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible, o como la cantidad de energía luminosa expresada por una fuente y valorada por el ojo humano” (Quizhpi, 2015).

El símbolo para el flujo luminoso es representado por la letra griega Φ (phi) y su unidad de medida es lumen (lm).

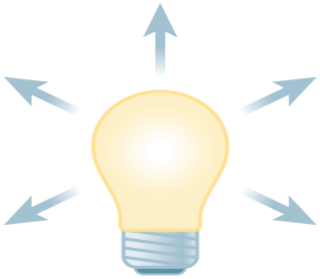


Figura 1. Flujo luminoso
Fuente: ETAP Lighting. https://www.etaplighting.com/es

Por ejemplo, al tomar dos focos de tipo idéntico, pero de diferentes potencias, claramente se puede deducir que el foco de mayor potencia es el que va a suministrar más luz; por otra parte, si se piensa en una lámpara, una porción del flujo luminoso es absorbido por el sistema de iluminación, también debe resaltarse que el flujo luminoso no se distribuye de forma uniforme en todas las direcciones y que esté disminuye si la lámpara se encuentra con polvo.

2.1.2. Intensidad luminosa

Se le llama intensidad luminosa al flujo luminoso emitido por una fuente en una determinada dirección para cada ángulo sólido; es decir, la intensidad luminosa es la cantidad de luz que emite una fuente de luz. Un claro ejemplo es un proyector, el cual solo ilumina en una dirección. El símbolo de la intensidad luminosa es "*I*" y se miden en candelas (cd). La intensidad lumínica se determina con la siguiente ecuación 1:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad Ec.(1)$$

Donde:

I = intensidad luminosa (cd)

Φ = flujo luminoso (lm)

ω = ángulo sólido (°)

Por tanto, la intensidad luminosa significa la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en una determinada dirección, radiado por unidad de ángulo sólido, lo cual da una idea de cómo llega la energía a algún punto del espacio. En la Figura 2 se observa la diferencia entre el flujo luminoso y la intensidad luminosa.

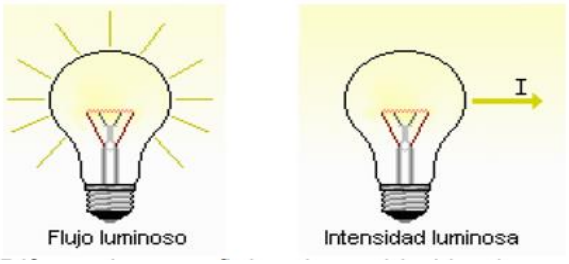


Figura 2. Intensidad luminosa
Fuente. Magnitudes y unidades de medida. https://recursos.citcea.upc.edu/llum/fotometria/magnitud.html

2.1.3. Iluminancia

La iluminancia o nivel de iluminación, se define como el flujo luminoso que incide sobre una superficie, su símbolo es "*E*" y su unidad de medida es el lux, donde un lux es lm/m^2. En definitiva, mediante un flujo luminoso y una determinada superficie a iluminar, la iluminación será:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad Ec.(2)$$

Donde:

E = iluminancia o nivel de iluminación (lx)

S = área de la superficie a iluminar (m^2)

Φ = flujo luminoso (lm)

Un ejemplo muy común para entender la iluminancia de una mejor forma es mediante la interacción con una lámpara al iluminar objetos a distintas distancias, como se muestra en la Figura 3. Al iluminar una pared muy cerca, ésta es iluminada intensamente y se aprecia un círculo muy pequeño; por otra parte, al ser iluminada posicionando la lámpara a mayor distancia la luz emitida se presenta débil con un círculo de mayor dimensión. Por lo tanto, se puede interpretar como: a mayor superficie a iluminar, menor iluminancia, o por el contrario a menor superficie a iluminar, será mayor el nivel de iluminación que se alcanza.

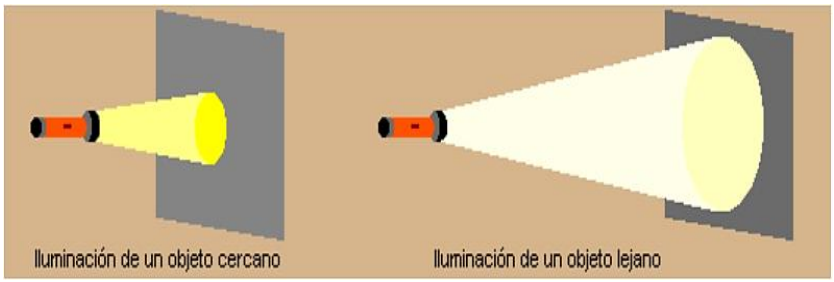


Figura 3. Iluminancia
Fuente: Magnitud y unidades de medida. https://recursos.citcea.upc.edu/llum/fotometria/magnitud.html

2.1.4. Luminancia

La luminancia o también conocida como brillo, es el resultado de la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente a iluminar, sobre la retina del ojo, o bien como lo menciona Arbona (2020), "*es como se percibe la luz, ya que el observador verá la superficie aparente proyectada desde la posición en la que se encuentre*". En otras palabras, la luminancia es la magnitud que mide el brillo tanto de una fuente luminosa como de un objeto iluminado que refleja luz, tal y como se muestra en la Figura 4.

La luminancia se mide en candelas por metro cuadrado (cd/m^2), la cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L = \frac{I}{A\ cos\alpha} \qquad Ec.\,(3)$$

Donde:

L = luminancia (cd/m^2)

A = área de la superficie real iluminada (m^2)

α = ángulo de emisión (°)

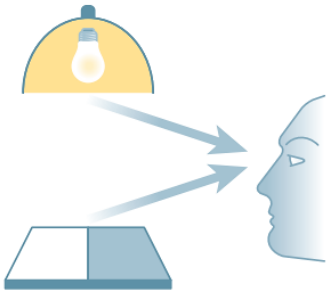


Figura 4. Luminancia
Fuente: ETAP Lighting. https://www.etaplighting.com/es

2.1.5. Temperatura de color

Laszlo (2018) afirma que "*cuando un metal es calentado, pasa por una gama de colores que van desde el rojo al azul, pasando por rojo claro, naranja, amarillo, blanco y blanco azulado*". Por tanto, si se considera un cuerpo negro como radiante perfecto teórico, este experimenta el mismo comportamiento del metal al ir cambiando de color a medida que aumenta su temperatura. Se puede definir entonces como el color irradiado por una fuente

luminosa, el cual varía desde un rojo opaco o cálido, hasta alcanzar un azul frío o blanco azulado.

Se puede pensar que la temperatura de color al expresarse en grados kelvin (K) es una medida de temperatura, pero en realidad se utiliza para indicar el color de una fuente luminosa comparada con el color de un cuerpo negro a una determinada temperatura.

En la Figura 5 se puede observar que se encuentra clasificada en tres rangos: de 2700 – 3500 K es una luz cálida; un blanco neutro que va desde los 3500 – 4500 K y a partir de los 5000 K hasta los 6500 K se le considera una luz fría o blanco frío.



Figura 5. Temperatura de color
Fuente: Igan iluminación. https://www.igan-iluminacion.com/es/

2.1.6. Eficacia luminosa

La eficacia luminosa, se define como el cociente del flujo luminoso emitido por una fuente luminosa y la potencia que consume, con lo cual se determina con la división entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica que consume por dicha fuente (Chávez et. al, 2021). El rendimiento luminoso se representa por η (eta) y su unidad de medida es el lumen por watt (lm/W).

La eficiencia luminosa se determina mediante la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \qquad Ec.(4)$$

Donde P es la potencia eléctrica de la fuente luminosa, en watts.

Para entender mejor al rendimiento luminoso, se puede definir como la relación existente entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica consumida, mientras mayor sea la eficiencia, mejor será la fuente luminosa y consumirá menos energía eléctrica.

2.2. Principios componentes de un sistema de iluminación

Un sistema de iluminación es un conjunto de elementos que son diseñados para suministrar la iluminación adecuada y poseen aspectos estéticos, requeridos en las áreas donde se realizan actividades definidas. Para obtener estas peculiaridades es necesario realizar una selección de luminarias y lámparas que satisfagan estas demandas.

2.2.1. Luminarias

Las luminarias se encargan de distribuir, filtrar o transformar la luz emitida por una o varias lámparas; asimismo, contienen todos los elementos necesarios para su funcionamiento, incluyendo los mecanismos de protección y fijación. Por otra parte, las luminarias también deben cumplir una serie de características, ópticas, eléctricas y mecánicas.

La distribución de la luz emitida, el reparto luminoso y el buen rendimiento luminoso del conjunto lámpara – luminaria, son características ópticas que debe cumplir una luminaria, evitando deslumbramiento a los usuarios y la contaminación lumínica. Soto y Paz (2006) plantean que las luminarias también deben ser de fácil instalación y mantenimiento, sin perder de vista aspectos económicos y de estética.

De manera general, las luminarias se conforman de ciertos elementos para su óptimo desempeño, los cuales son:

- Armadura o carcasa. Elemento que funciona como soporte e incluye todos los componentes de la o las lámparas y la luminaria.
- Equipo eléctrico. Donde se incluyen los elementos necesarios para el encendido y el funcionamiento de la lámpara. El equipo eléctrico depende del tipo de lámpara que se utilice.
- Filtros. Son los elementos que potencian o disminuyen algunas características de la radiación luminosa emitida por la lámpara.
- Reflectores. Estas son superficies que se encuentran en el interior de la luminaria y son los encargados de dirigir al flujo luminoso de la lámpara.
- Difusores. Elementos que recubren la luminaria por la zona por la que se emite el flujo luminoso.

Por otro lado, las luminarias están sustancialmente condicionadas por el tipo de lámpara utilizada, es por ello que existe una diversidad en su diseño, aplicación e instalación, buscando eficiencia al tiempo de confort.

En la actualidad existen una amplia gama de lámparas que se ofrecen en el marcado, las cuales son las encargadas de transformar la energía eléctrica en luz. Las lámparas pueden ser clasificadas en grupos como plantea Arbona (2020), al esquematizar el tipo de lámparas en cuatro agrupaciones con sus respectivas subcategorías, como se muestra en la Figura 6.

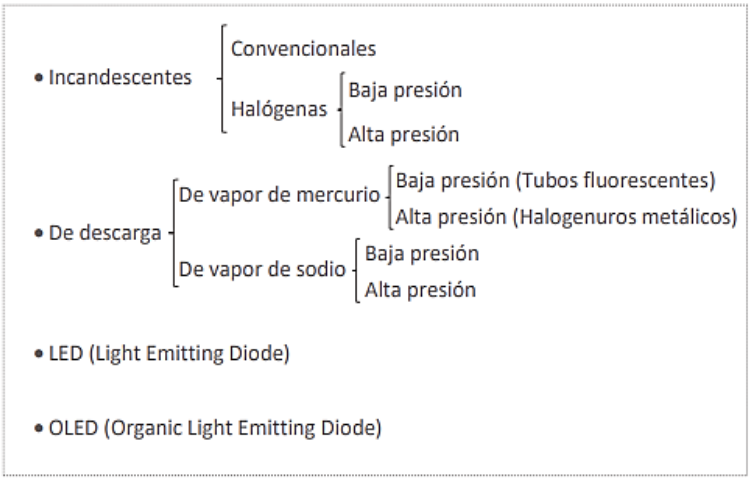


Figura 6. Tipos de lámparas
Fuente. Arbona, 2020

2.2.2. Lámparas Fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son fuentes luminosas que producen luz derivado de una descarga eléctrica, ésta genera radiaciones energéticas debido al movimiento de electrones a través de gases inertes, generalmente argón o neón, y una pequeña cantidad de vapor de mercurio a baja presión. Las radiaciones ocasionadas por la excitación de los electrones son ultravioletas las cuales son invisibles al ojo humano, estas radiaciones se dirigen a una substancia fluorescente y se convierte en una radiación visible.

Los principales elementos de los que está compuesta una lampara fluorescentes son: el tubo de descarga que normalmente es de vidrio, electrodos, el casquillo de conexión, el gas relleno y las sustancias fluorescentes, los cuales se ilustran en la Figura 7.

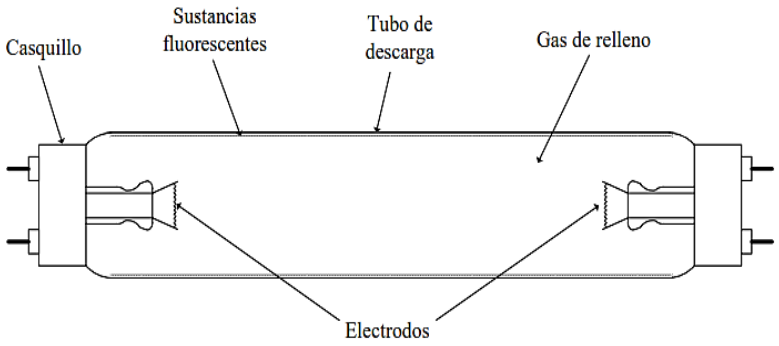


Figura 7. Elementos de una lámpara fluorescente
Fuente. Conejo et. al, 2007

El funcionamiento de una lámpara fluorescente da inicio con el paso de la corriente por los filamentos de los electrodos, estos filamentos al calentarse desprenden electrones los cuales ionizan al gas inerte y evaporan el mercurio contenido en el interior del tubo. La corriente eléctrica que circula por el tubo excita a los átomos de mercurio emitiendo radiación ultravioleta, los materiales fluorescentes que revisten el interior del tubo de descarga transforman la radiación ultravioleta en radiación visible mediante el fenómeno de la fluorescencia (Conejo et. al, 2007).

Así mismo, Conejo (2007) apunta que, para el correcto funcionamiento de cualquier tipo de lámpara fluorescente, es necesario que cuente con 3 elementos auxiliares (véase Figura 8):

- Cebador, es el componente quien sirve para calentar el gas en el interior del tubo en el momento del encendido, el cual está conectado en paralelo con el tubo. Una vez caliente el gas, el cebador puede ser desconectado puesto que el propio paso de la corriente los mantendrá caliente y la lámpara fluorescente seguirá encendida.
- Una reactancia o balastro, es el encargado de suministrar la corriente de arranque adecuada para el encendido de la lámpara y además limita la corriente que atraviesa por la misma para evitar un exceso de electrones circulando por el gas que pueden averiar la lámpara, este se encuentra conectado en serie con el tubo.
- Un condensador, tiene por función compensar el factor de potencia de la lámpara, el cual es pequeño debido a la reactancia (oposición al paso de la corriente alterna).

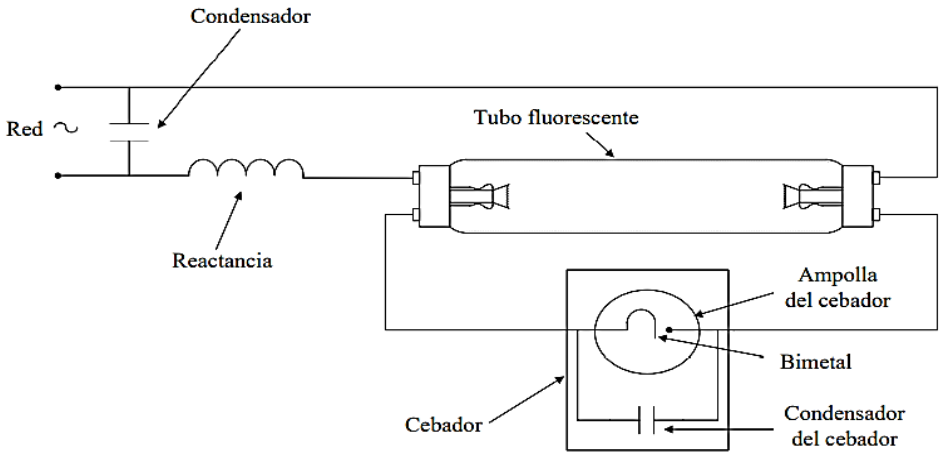


Figura 8. Elementos auxiliares de una lámpara fluorescente
Fuente. Conejo et. al, 2007

2.2.3. Lámparas LED

La lámpara LED (por sus siglas en inglés *light emitting diode*), o diodo emisor de luz por su traducción al español, es un dispositivo electrónico semiconductor el cual está unido a dos terminales, cátodo y ánodo o negativo y positivo. Las lámparas LED son consideradas fuentes de luz de estado sólido por no tener filamentos ni gases inertes en su interior; por tanto,

cuando la corriente circula por la lámpara se produce un efecto de electroluminiscencia, donde la corriente eléctrica se transforma en radiación visible por la excitación de la materia. De acuerdo con LEDTINK (2013, como se citó en Salinas, 2016) en la iluminación con LED, los elementos internos principales de una lámpara tipo tubo se muestran en la Figura 9, indicados por las letras del alfabeto de forma secuencial desde la A hasta la F.

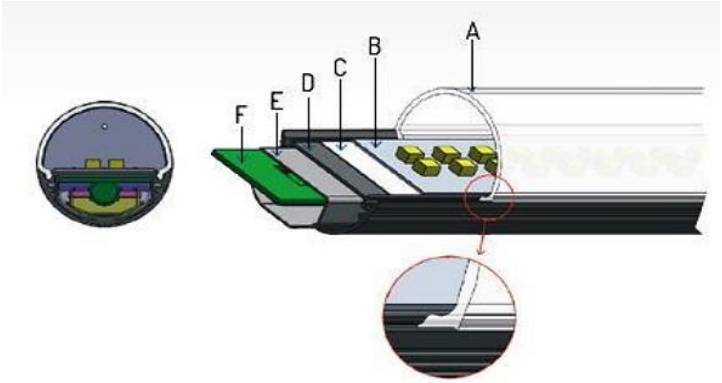


Figura 9. Estructura de un tubo LED
Fuente: REGREEN BANGLA, 2022. http://regreenbangla.com/led-tube-light-high-brightness-category/

Donde:

A. Es la primera cubierta protectora
B. La base de diodos LED
C. Base de silicona térmica (ZSA)
D. Capa de aluminio
E. Es una capa de protección para la fuente de alimentación
F. La fuente de alimentación

Al igual que las lámparas fluorescentes, una lámpara LED también necesita de elementos auxiliares. Un LED no se conecta directamente a la red de corriente alterna, sino este dispositivo se ayuda de una fuente de alimentación o driver, el cual es el encargado de transformar la tensión suministrada por la red eléctrica para adaptarla a la luminaria, debido que las lámparas LED operan con corriente continua y a una baja tensión (Castillo y Marrufo, 2018).

2.2.4. Beneficios de utilizar tecnología LED

Como se mencionó, actualmente se realizan acciones de concientización sobre temas medioambientales y de ahorro energético, por lo que se desarrollan nuevas tecnologías a razón de alcanzar un menor consumo de recursos energéticos para un mismo servicio. Debido a que, en este proyecto se evalúa la eficiencia energética mediante la sustitución de lámparas fluorescentes T8 por lámparas LED T8, en este apartado se proporciona algunas de las ventajas que se obtienen al utilizar tecnología LED frente a la fluorescente.

- Menor consumo de energía, una lámpara led demanda menos potencia para producir la misma cantidad de luz que las lámparas fluorescentes, en otras palabras, tiene mayor eficiencia energética (Cano et al., 2010).
- Un tubo LED no necesita de substancias para su encendido, a diferencia de las fluorescentes las cuales requieren de mercurio, gas que es tóxico para las personas y el medio ambiente (Soltec Asesores, 2013).
- La tecnología LED, no necesita de los elementos auxiliares de las lámparas fluorescentes, por ejemplo, no necesitan balastro que es también un elemento que consume energía, lo que permite un ahorro en mantenimiento o sustitución.
- Otra ventaja económica, es que las lámparas LED son diseñadas para la sustitución lámparas fluorescentes, por lo que no es necesario cambiar de luminaria, ya que se pueden instalar en las existentes (Alromar, 2012).
- Además, las lámparas LED, no necesitan elementos reflectores, puesto que emiten luz en un ángulo de 180°, por lo que siempre se aprovecha el 100 % de la luz emitida (Elizalde, 2015).
- Los tubos LED son más resistentes a los golpes que los tubos fluorescentes, una de las ventajas en cuestiones instalación, además de que pueden ser desmontables y ser reparados algo que es imposible con las lámparas fluorescentes (Elizalde, 2015).
- Menos riesgo eléctrico. Los LEDs generalmente se alimentan a 24 V de corriente continua, reduciendo al mínimo los posibles riesgos de electrocución (Cano et al., 2010).

Considerando las ventajas de la tecnología LED frente a la fluorescentes, se puede asegurar que, al realizar la sustitución de lámparas, se obtienen beneficios medioambientales de manera indirecta al generar menos emisiones de CO_2 a la atmósfera derivado de la generación de la energía eléctrica por plantas convencionales, puesto que las lámparas LED demandan un menor consumo, además de que no contamina con el vapor de mercurio. Adicional al ahorro energético, se consigue un ahorro económico por mano de obra al no necesitar elementos auxiliares que normalmente requieren mantenimiento y la sustitución de los mismos.

2.3. Normativas Oficiales Mexicanas (NOM)

Las normas oficiales mexicanas son disposiciones generales técnicas obligatorias, la cuales son las encargadas de asegurar el cumplimiento de criterios de calidad y seguridad, expedidas por dependencias de carácter público federal. Su objetivo es prevenir los riesgos a la salud, el patrimonio y la vida, además, de establecer características y especificaciones aplicables para servicios, productos, equipos, procesos y etiquetados. Para poder lograr su cometido se requieren de organismos de certificación, laboratorios de prueba y calibración y unidades de verificación.

En este trabajo, se evalúa el sistema de iluminación instalado en edificio A del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM desde dos puntos de vista, con los niveles de iluminación con los que se trabaje sean adecuados para la realización de actividades, al tiempo de contar con la tecnología eficiente en los sistemas de iluminación, para obtener un bajo consumo lo cual adquiere un ahorro energético y brinda un ambiente propicio de trabajo.

A continuación, se presentan las normativas que serán aplicadas para este caso de estudio.

2.3.1. NOM-025-STPS-2008

La Norma Oficial Mexicana sobre las condiciones de iluminación en los centros de trabajo, establece los requerimientos de iluminación en los espacios de trabajo, fue publicada por la Secretaría del Trabajo y Prevención Social en el DOF el 30 de diciembre del 2008, la cual

tiene como objetivo establecer las características de iluminación en los centros de trabajo, para que no sea un factor de riesgo para la salud para las personas que trabajan al realizar sus actividades, además, obliga al patrón sobre los riesgos de la deficiencia o exceso en los niveles de iluminación, proporcionando un ambiente seguro y adecuado para los trabajadores.

El procedimiento de la norma inicia con el reconocimiento del sistema de iluminación, observando la cantidad y la forma en que están distribuidas las luminarias, identificando las actividades que se realizan en cada área, a fin de llevar a cabo su evaluación referenciada a una tabla con los niveles mínimos de iluminación por tarea visual, expresado en luxes.

Para saber el número y los puntos de las mediciones a realizar, se utiliza la información antes recaudada en el reconocimiento de las áreas de trabajo, donde se conoce los datos de las dimensiones que se necesitan para realizar el cálculo, con el propósito de obtener un número como resultado de la operación, para ser ubicado en el rango y con ello saber el mínimo de mediciones que se sugiere realizar.

Al conocer el número y los puntos de mediciones, se deben distribuir en el área que se pretende evaluar, para observar si se pueden llevar a cabo las mediciones recomendadas o se deben considerar más al existir limitación o coincidencia con los puntos focales de las luminarias. Finalmente, se debe considerar la iluminación que se utilice, ya sea natural o artificial, a fin de realizar el censo en un horario adecuado, y evaluar si el área de estudio tiene una iluminación deficiente o exceso de iluminación que provoque deslumbramiento.

2.3.2. NOM-007-ENER-2014

Esta Norma Oficial Mexicana eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales, fue publicada por la Secretaría de Energía en el DOF el 7 de agosto del 2014, el cual tiene como objetivos, establecer los niveles de eficiencia energética en términos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA), así como el método de cálculo para su determinación. La DPEA es el índice de la carga conectada para alumbrado por

superficie de construcción, la cual se expresa en W/m^2. La norma proporciona la tabla con los valores máximos de DPEA permitidos, por el uso del edificio de estudio.

Para llevar a cabo el cálculo de la DPEA es necesario conocer tanto la carga instalada de iluminación, como el área iluminada del espacio de interés y debe ser realizado de forma independiente, la función de la DPEA es ser un indicativo para conocer si hay un excedente de carga instalada en un espacio.

Como parte de la evaluación de esta norma, se debe corroborar que la carga total conectada para el alumbrado sea mayor o igual a 3 kW, de manera que, la instalación se encuentre dentro del campo de aplicación. Entre las instalaciones en donde esta norma tiene aplicación, independientemente de las actividades y tareas que se llevan a cabo en ellos, están:

- Oficinas
- Escuelas y demás centros docentes
- Establecimientos comerciales
- Hospitales
- Hoteles
- Restaurantes
- Bodegas
- Recreación y cultura

En esta norma no está considerada dentro del campo de aplicación los sistemas de alumbrado instalado, algunos de los lugares son los siguientes:

- Centros de baile, discotecas
- Estudios de grabación cinematográficos y similares
- Anuncios luminosos y logos
- Equipos de alumbrado para señales de emergencia y evacuación

Capítulo III. Metodología

En esta sección se realiza el reconocimiento e identificación de las áreas de estudio del edificio A, obteniendo sus dimensiones y la actividad que se realiza con el propósito de conocer el nivel de iluminación y eficiencia energética necesario para poder llevar a cabo la evaluación del sistema de iluminación correctamente, basado en las normas mexicanas oficiales referenciadas anteriormente; asimismo, se realiza el cálculo de la carga instalada a fin de estimar la energía consumida con tecnología fluorescente y LED.

Además, se presentan los procedimientos establecidos en las normas, donde se muestran los métodos utilizados para realizar la evaluación y el cálculo de los niveles de iluminación y de la densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA). Por último, se expone de forma detallada, la metodología de la sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LED.

3.1. Áreas de estudio del Edificio A de la UACM Plantel SLT

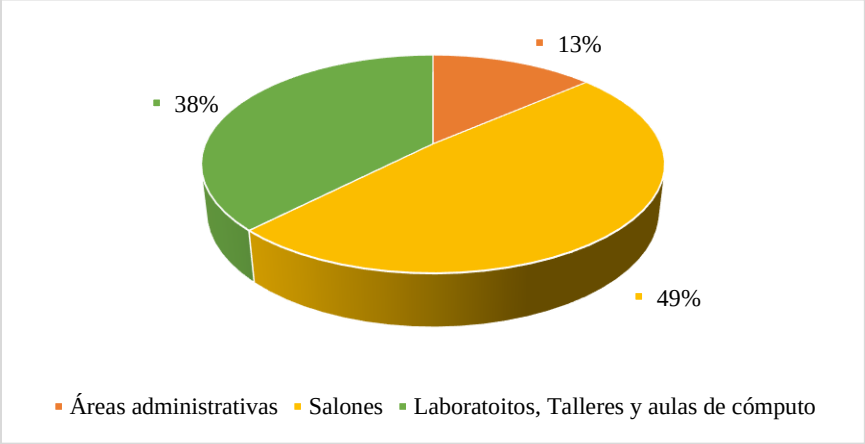
El edificio A, objeto de estudio, se encuentra en el Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, ubicado en la calle Isidro 151, San Lorenzo Tezonco, Iztapalapa. C.P 09790, CDMX. El edificio A, está situado al noroeste de la institución, con una superficie construida aproximada de 4,200 m^2. La edificación está formada por planta baja y cuatro niveles más, completando un total de 69 áreas las cuales serán analizadas de forma individual. En la Tabla 1 se muestra a manera de resumen, la ubicación de las áreas de estudio, cantidad y superficie expresada en m^2, además del porcentaje de la superficie ocupada de acuerdo con la actividad que realizan.

Tabla 1. Áreas de estudio del edificio A

Ubicación	Actividad	Cantidad	Superficie	
			m^2	%
PB	Registro escolar	1	106.7	2.5%
	Lab. Auto – Acceso	2	256.3	6.1%
	Aula de cómputo	7	423.5	10.1%
	Salón	1	60.5	1.4%
	Aula de Titulación	1	60.5	1.4%
	Servicio Médico	1	60.5	1.4%
1er Nivel	Salón	13	679.25	16.2%
	Lab. Artes Visuales	1	52.25	1.2%
	Taller Letras Habladas	2	104.5	2.5%
2do Nivel	Salón	12	627	14.9%
	Aula Multimedia	3	209	5.0%
3er Nivel	Salón	13	679.25	16.2%
	Lab. Idiomas	2	104.5	2.5%
	Sala de Juntas	1	52.25	1.2%
4to Nivel	Lab. Física	2	213.4	5.1%
	Lab. Química	2	213.4	5.1%
	Lab. Biología	2	213.4	5.1%
	Almacén	3	82.5	2.0%
Total		69	4,198.7	100.0%

En relación con lo anterior, las áreas de estudio se englobaron en 3 grupos, con el propósito de realizar la suma de los espacios independientemente del nivel donde se encuentren ubicados, a fin de conocer qué porcentaje del área total del edificio está destinada a cada actividad, coincidiendo con el nivel de iluminación que posteriormente se mencionará.

Los grupos y su respectivo porcentaje se muestran en la Gráfica 1, donde se observa que la mayor parte de la superficie es destinada para los salones con el 49%, seguido de los laboratorios, talleres y aulas de cómputo con un 38%. En el caso de las áreas administrativas estas representan un 13% de la superficie total; donde se incluyen sala de juntas, registro escolar, servicio médico, aula de titulación, aulas multimedia y los almacenes de los laboratorios ubicados en el 4to nivel.



Gráfica 1. Distribución de las zonas de trabajo por actividad, edificio A SLT

3.2. Censo de la energía consumida por el sistema de iluminación de la UACM

En esta sección, se realiza el censo de la potencia total instalada en el sistema de iluminación de las áreas de estudio del edificio A del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, con el propósito de llevar a cabo el cálculo estimado del consumo de energía por las luminarias. El cálculo se llevó a cabo con la potencia nominal de las lámparas de cada tecnología tomando en cuenta que todas las lámparas se encuentran en funcionamiento.

El sistema de iluminación en el edificio A, cuenta con un plafón en la mayoría de las áreas, el cual tiene por función ser un reflector, puesto que fue diseñado con la propuesta original con lámparas fluorescentes que tienen un ángulo de haz de 360°, es decir, emiten luz hacia todas las direcciones, además de que el plafón sirve de soporte de las luminarias. Al realizar la identificación y censo se observó que cada luminaria está conformada por dos lámparas,

el número de luminarias en todas las áreas de estudio del edificio A es de 708, obteniendo un total de 1,416 lámparas.

El cálculo de la energía consumida del sistema de iluminación se lleva a cabo con la potencia total instalada y se hace un estimado de las horas en las cuales las lámparas se encuentran en funcionamiento. Se generaliza para todas las áreas el mismo tiempo de operación de las lámparas, aunque se realicen diferentes actividades en ellas.

Se considera que las lámparas están encendidas en todas las áreas de estudio en un horario de 6:00 am a 11:00 pm, de lunes a viernes; mientras que el sábado y domingo se toman en cuenta dos horarios: de 6:00 am a 8:00 am y de 7:00 pm a 11:00 pm. Por lo tanto, se tiene en cuenta que las lámparas están en funcionamiento un total de 97 horas por semana, con lo cual se obtiene que operan 388 horas al mes. Se tomaron en cuenta estos horarios, ya que el personal de la institución entra una hora antes de la primera clase que inicia a las 7:00 am y una hora después del término de la última clase a las 10:00 pm de lunes a viernes; para el caso de los fines de semana el sistema de iluminación se encuentra encendido en las horas donde se encuentra oscuro y escasea la luz natural.

El cálculo se iniciará con las lámparas fluorescentes, seguido de las lámparas LED, dando una breve descripción de las características técnicas obtenidas de cada una, aunque se amplía la información en la sección de anexos donde se incluyen las fichas técnicas de las lámparas fluorescentes (Anexo 1) y de las lámparas LED (Anexo 2).

Con respecto a las lámparas fluorescentes, estas son marca Phillips modelo F32T8-TL841. Con la finalidad de comprender mejor la nomenclatura, se dará una breve explicación del significado del código. Las primeras iniciales F32 se refiere a una lámpara fluorescente de 32 W de potencia nominal; las iniciales T8 señalan que se trata de una lámpara tipo tubo y el número 8 indica el diámetro del tubo medido en octavos de pulgadas; es decir 8/8 de pulgada. Finalmente, las iniciales TL841 indican que se trata de una lámpara lineal con un índice de rendimiento de color de 85% y una temperatura de color de 4,100 K. De la ficha técnica (Anexo 1) obtenemos sus principales características técnicas:

- Vida útil (nominal) 30,000 horas
- Flujo luminoso (nominal) 2,850 lm
- Temperatura de color 4100 K (Blanco Frío)
- Potencia (nominal) 32 W
- Tensión (nominal) 277 V

Como se mencionó, las lámparas fluorescentes necesitan de un balastro, en este caso, se cuenta con un balastro electrónico atenuable de 2x32W T8. Basado en el catálogo balastros marca LUTRON, se obtuvo que la potencia de entrada requerida para las dos lámparas y el balastro es de 66.5 W (Anexo 3). Los balastros instalados en el edificio A se muestran en la Figura 10, donde se encontraron tres modelos de marcas diferentes.



Figura 10. Modelos de Balastros instalados en el sistema fluorescente del edificio A
Fuente: Diagnóstico energético del sistema de iluminación (2009)

Con la potencia unitaria de la luminaria, se contabilizó un consumo de energía de la carga instalada en el sistema de iluminación con lámparas fluorescentes de 18,268 kWh/mes, durante las horas en operación en un mes, lo cual se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Energía consumida con lámparas fluorescentes

Descripción del sistema de iluminación	Potencia unitaria (W)	Número de Luminarias	Horas en operación (h/mes)	Energía consumida (kWh/mes)
Luminaria con 2 lámparas fluorescentes T8 de 32 W con balastro electrónico	66.5	708	388	18,267.81

Por su parte, en la Tabla 3 se muestra la potencia instalada con lámparas LED tipo T8 Mains modelo Lighting marca Philips, que por su diseño son recomendables para la sustitución de las lámparas fluorescentes, las cuales tienen las siguientes características técnicas:

- Vida útil (nominal) 30,000 horas
- Ángulo de haz (nominal) 240°
- Flujo luminoso (nominal) 2,100 lm
- Temperatura de color 4000 K (Blanco Frio)
- Potencia (nominal) 18 W
- Tensión (nominal) 100 – 277 V

Al realizar la sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LED, se obtiene un ahorro del 46% en el consumo de energía derivado a que se necesita menos potencia de entrada, aunado a esto también se eliminan elementos auxiliares, los cuales también requieren de potencia adicional. Los balastros son retirados y las lámparas LED son conectadas directamente a la red, alcanzado una potencia nominal por luminaria de 36 W, contabilizando un consumo de energía de la carga instalada en el sistema de iluminación con lámparas LED de 9,889 kWh/mes.

Tabla 3. Energía consumida con lámparas LED

Descripción del sistema de iluminación	Potencia unitaria (W)	Número de Luminarias	Horas en operación (h/mes)	Energía consumida (kWh/mes)
Luminaria con 2 lámparas LED T8 de 18 W	36	708	388	9,889.34

3.3. Niveles de iluminación requeridos para el edificio A de la UACM

A partir de las actividades que se realizan en las áreas del edificio A, se determina la iluminancia requerida con base en la norma NOM-025-STPS-2008, la cual establece la iluminación mínima en luxes requeridos para diversos espacios de trabajo. En la Tabla 4 se muestra únicamente un extracto de la tabla contenida en la norma con los espacios de interés. La información completa de los niveles de iluminación mínimos requeridos establecidos por la norma se encuentra en el Anexo 4.

Tabla 4. Niveles de Iluminación mínimos requeridos para el Edificio A

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente fácil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500

Fuente: NOM-025-STPS-2008

Como se mencionó, las áreas de estudio se dividieron en 3 grupos independientemente de la cantidad de áreas, pero coincidiendo con el nivel mínimo de iluminación promedio medido en luxes que requieren derivado de la actividad que se realiza, aplicando la norma oficial mexicana. En la Tabla 5 se presentan la totalidad de las áreas, agrupadas de acuerdo con lo

planteado, donde se muestran las áreas de trabajo, actividad que se realiza y la iluminancia mínima expresada en luxes.

Tabla 5. Niveles de iluminación por área de trabajo para el edificio A

Área de Trabajo	**Actividad que se realiza**	**Iluminancia Mínima (Luxes)**
Aulas	• Salones.	300
Áreas administrativas	• Registro escolar, • Aula de titulación, • Servicio médico, • Aulas multimedia, • Sala de juntas y • Almacenes.	300
Laboratorios, aulas de cómputo y Talleres	• Laboratorios de Auto – acceso, • Laboratorio de Artes Visuales, • Laboratorios de Idiomas, • Laboratorios de Física, • Laboratorios de Química, • Laboratorios de Biología, • Aulas de Cómputo y • Talleres de Letras Habladas.	500

Fuente: NOM-025-STPS-2008

3.3.1. Método para evaluar los niveles de iluminación

El procedimiento usado para evaluar los niveles promedio de iluminación está descrito en la NOM-025-STPS-2008, donde se emplea el índice del área (*IC*), el cual está basado en las dimensiones geométricas de cada área, obteniendo el número mínimo de mediciones recomendados por la norma vigente, establecida en la Tabla 6.

Tabla 6. Relación entre el índice de área y el número de zonas de Medición

Índice de área	A) Número mínimo de zonas a evaluar	B) Número de zonas a considerar por la limitación
IC <1	4	6
1 ≤ IC < 2	9	12
2 ≤ IC < 3	16	20
3 ≤ IC	25	30

Fuente: NOM-025-STPS-2008

El *IC* se determina mediante la ecuación 5:

$$IC = \frac{(x)(y)}{h\,(x+y)} \qquad Ec.(5)$$

Donde:

IC = índice del área.

x, *y* = dimensiones del área (largo y ancho), en metros.

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

Con el propósito de conseguir una mayor precisión, se utilizó un distanciómetro digital para obtener las dimensiones de cada una de las áreas tipo del edificio A. Se obtuvieron valores diferentes de *IC*, puesto que el tamaño de algunas áreas es distinto, excepto por la altura *h*, que coincide en todos los lugares con un valor de 2.6 m.

En el caso de las aulas, las mediciones se realizaron solo en unos cuantos salones debido a que tienen dimensiones similares con 5.5 m de largo y 9.5 m de ancho. La Figura 11 muestra la distribución de las luminarias de los salones, aunque cabe señalar que en cada salón sólo hay una puerta, pero su colocación varía en función de la ubicación del salón.

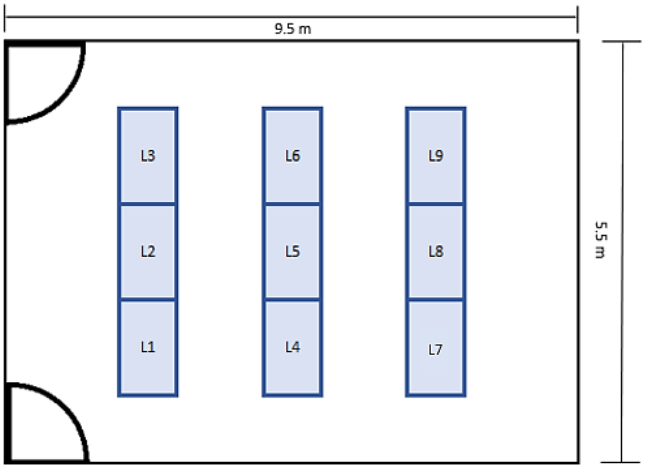


Figura 11. Distribución general de las luminarias en salones

Al sustituir los valores de las medidas de los salones en la ecuación 5, se obtiene:

$$IC = \frac{(9.5\ m)(5.5\ m)}{2.6\ m\ (9.5\ m + 5.5\ m)} = 1.33$$

Debido a que el *IC* se encuentra en el rango mayor a 1 y menor a 2 (véase la columna A de la Tabla 6), la recomendación de la norma es realizar al menos 9 mediciones. En la Figura 12 se muestra la distribución de los puntos de medición (puntos rojos) para salones, los cuales fueron distribuidos uniformemente de acuerdo a las dimensiones del área.

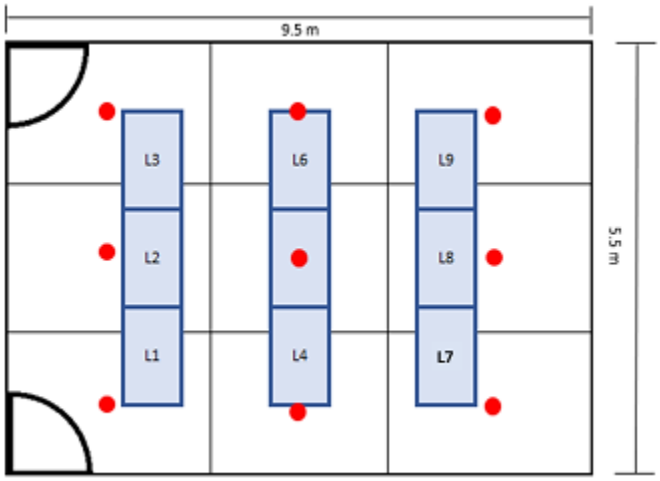


Figura 12. Ubicación de los puntos del nivel de iluminación en salones

Como puede verse en la Figura 12, la distribución de los puntos de medición coincide con los puntos focales de las luminarias, por lo que, a fin de no medir debajo de las luminarias, la norma indica que se debe considerar la columna B de la Tabla 6. Cabe señalar que el cálculo para determinar el número de mediciones mediante el índice del área, se realiza exactamente de la misma forma, al saber la información geométrica del área y la altura de las luminarias.

Con el valor de *IC* y consultando la columna B de la Tabla 6, se obtiene que deben realizarse por lo menos 12 mediciones, las cuales se presentan en la Figura 13. Las mediciones nuevamente se distribuyen uniformemente en los nuevos puntos a considerar, donde se observa que ya no hay coincidencia con los puntos focales, es decir que ya no se está debajo o muy cerca de las luminarias del sistema de iluminación, por lo que las mediciones se llevaron a cabo en las zonas resaltadas con puntos de color rojo.

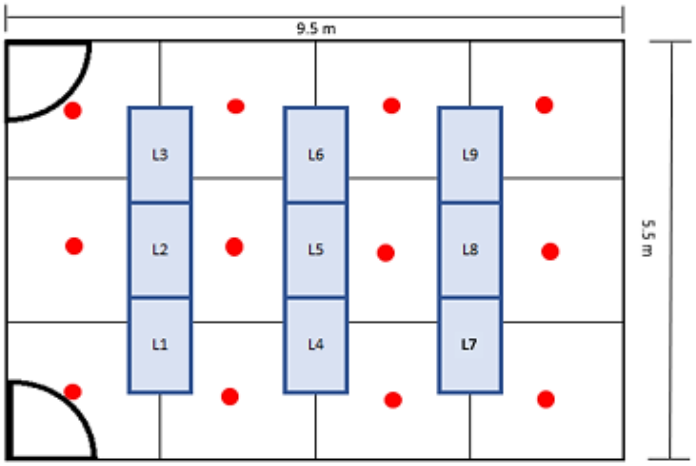


Figura 13. Distribución de luminarias y puntos de medición final en salones

Es importante resaltar que las dimensiones de algunos de los lugares de estudio son similares a las de los salones, al igual que la distribución de las luminarias, por lo que los puntos donde se realiza el censo del nivel de iluminación son idénticos a los de la Figura 13. Las áreas que tienen similitud en tamaño con los salones son: los talleres de letras habladas, los laboratorios de idiomas y el de artes visuales, la sala de juntas y 2 de las 3 aulas multimedia.

Por otra parte, en el caso de la planta baja, las dimensiones del ancho son diferentes que para los niveles 1, 2 y 3, con valor de 11 m, obteniendo un valor de $IC = 1.41$; por lo que, las aulas de cómputo y el servicio médico, también se realizaron con el mismo número de mediciones que el caso de las aulas.

En el caso particular del aula de titulación, la configuración del sistema de iluminación está conformada por una luminaria menos derivado de su función, pero las mediciones se realizaron de la misma forma, puesto que no existía coincidencia con los puntos focales la cual se muestra en la Figura 14. De igual manera, para los almacenes del 4to nivel se realizaron los mismos puntos y el número de mediciones.

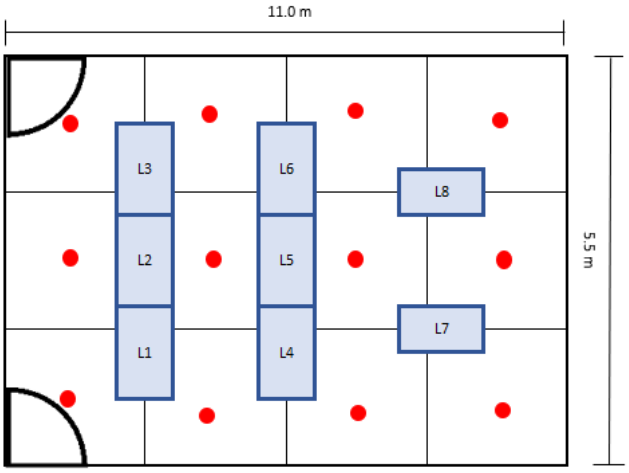


Figura 14. Distribución de luminarias y puntos de medición del aula de titulación

En el caso de los laboratorios de física, química y biología, ubicados en el 4to nivel, el cálculo del *IC* fue de 1.98, el cual se encuentra en el mismo rango que en el caso de los salones, por lo que el número de mediciones es exactamente igual. Sin embargo, con el propósito de evitar coincidir con los puntos focales del sistema de iluminación de estas áreas, los puntos de medición se aumentaron a 16 distribuidos de una forma análoga. La Figura 15 muestra el arreglo del sistema de iluminación de un laboratorio con la mitad de un almacén, puesto que cada dos laboratorios comparten un almacén.

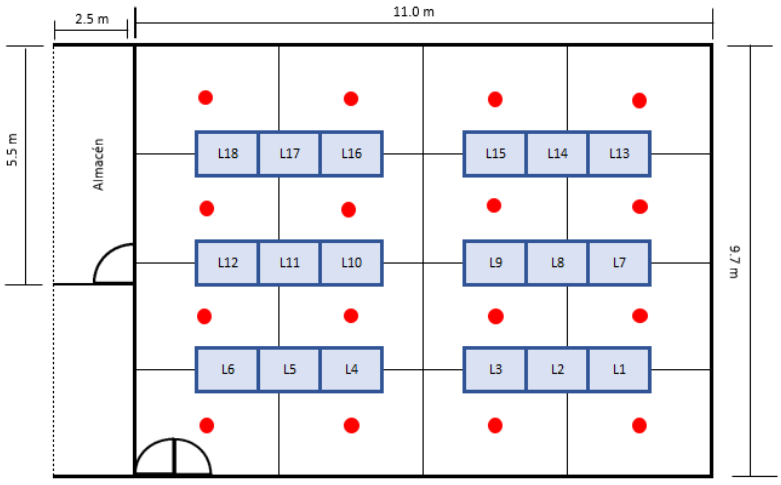


Figura 15. Distribución de luminarias y puntos para los laboratorios

En el caso del aula multimedia faltante ubicada en el 2do piso A-201, el número de mediciones y los puntos son el mismo que en los laboratorios del 4to nivel, puesto que las dimensiones y la distribución de las luminarias son las similares, a excepción de que no cuenta con un almacén.

Por último, el aula de registro escolar y los laboratorios de auto - acceso ubicados en la planta baja, tienen una configuración del sistema de iluminación distinta al resto de las áreas de estudio, por lo que las mediciones y el número varía respecto a las dimensiones de cada una de estas áreas. El resultado del *IC* para estas áreas se encuentra dentro del rango que se ha venido trabajando. En consecuencia, los puntos de medición fueron distribuidos uniformemente, evitando coincidencias con las luminarias, alcanzando 14 y 18 mediciones (véase en las figuras 16, 17 y 18).

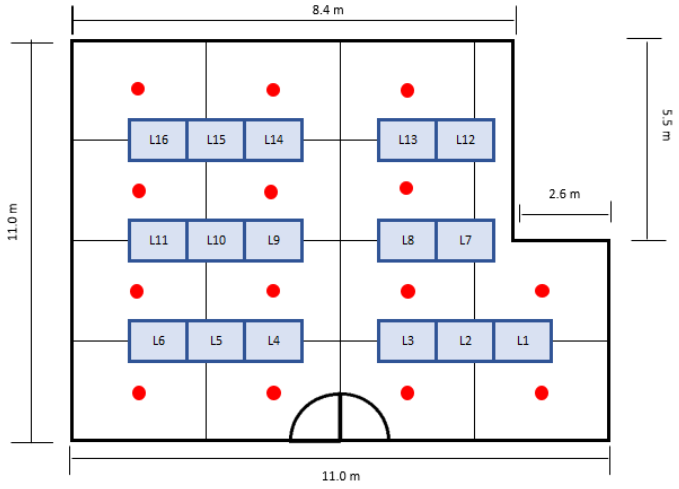


Figura 16. Distribución de puntos en Registro escolar

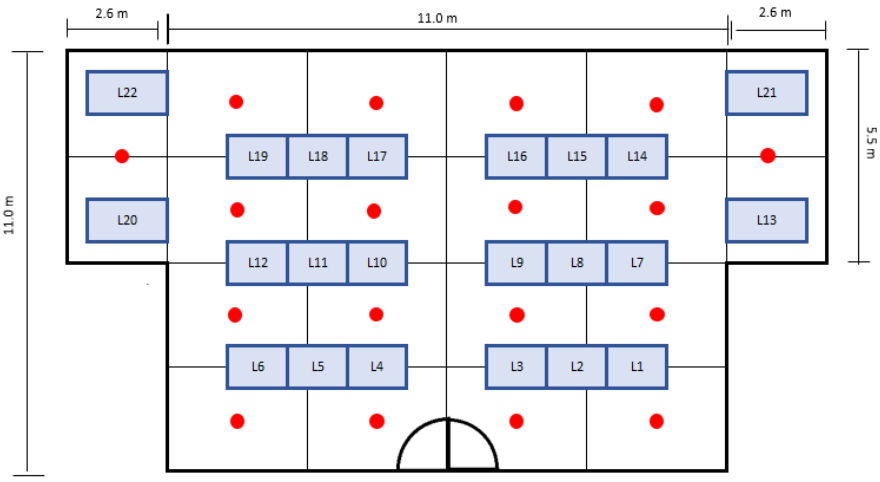


Figura 17. Distribución de puntos en laboratorio de auto acceso (A-002)

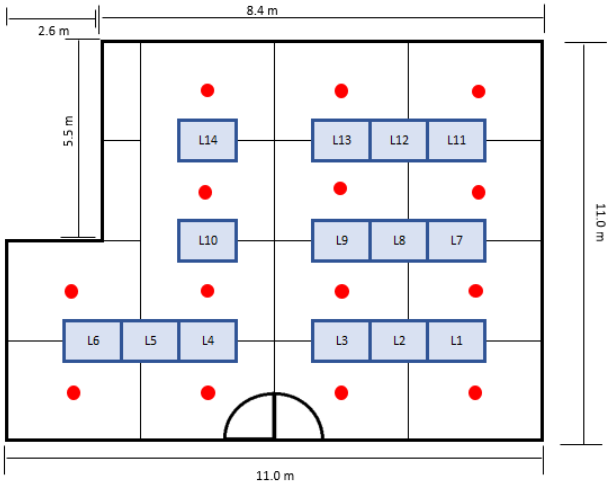


Figura 18. Distribución de puntos en laboratorio de auto acceso (A-003)

3.3.2. Medición de los niveles de iluminación

En esta etapa se utilizó un luxómetro marca AMPROBE LM-200LED, instrumento diseñado para medir los niveles de iluminación, por lo que se realizó una investigación preliminar y la lectura del manual para hacer un manejo adecuado de este dispositivo, el cual se presenta en el Anexo 5. En la Figura 19 se muestra el luxómetro y sus partes, enumeradas en relación con la información obtenida del manual de usuario.



Figura 19. Características del Luxómetro utilizado
Fuente: Manual de usuario. http://www.finaltest.com.mx/v/vspfiles/assets/datasheet/amprobe-LM-200LED_user_manual.pdf

1. Sensor de luz
2. Pantalla (LCD)
3. Lux / Candelas
4. Retención Máxima
5. Botón de encendido: encendido/apagado
6. Selección de rango manual
7. Botón retención de datos
8. Ajuste de cero del sensor de luz

Las mediciones de los niveles de iluminación se llevaron a cabo antes de la sustitución de las lámparas fluorescentes y después de instalar las lámparas LED, los resultados fueron censados en luxes y registrados en el formato correspondiente (véase Anexo 6). Las mediciones fueron realizadas en el horario nocturno por recomendación de la norma, debido a que la luz natural influye teniendo en cuenta que los niveles 1, 2 y 3 de la edificación están conformados por un muro de cristal y esto altera los niveles de iluminación.

3.4. Indicador de eficiencia energética requerido para el edificio A

Las actividades que se desarrollan en todas las áreas de estudio de la Universidad corresponden al uso de escuelas o instituciones educativas, de acuerdo con la clasificación NOM-007-ENER-2014, la cual establece los valores máximos de densidad de potencia para alumbrado (DPEA) que deben cumplir los edificios indicados en su sistema de iluminación interior. En la Tabla 7 se muestra únicamente la parte de escuelas y demás centros docentes, con el valor de DPEA que no deben exceder para el alumbrado interior del edificio de interés. La tabla completa de las DPEA contenida en la norma se encuentra en el Anexo 7.

Tabla 7. DPEA para escuelas y demás centros docentes

Tipo de edificio	**DPEA (W/m^2)**
Escuelas o instituciones educativas	14
Bibliotecas	15

Fuente: NOM-007-ENER-2014

Por otro lado, en el Anexo C de la NOM-007-ENER-2014 se presentan de manera orientativa los valores desglosados de DPEA de los espacios que hay en diferentes tipos de edificios de acuerdo con su uso; por lo que en la Tabla 8 se presentan los DPEA para espacios típicos en escuelas y demás centros docentes.

Tabla 8. Valores de DPEA para diferentes espacios pertenecientes a escuelas y demás centros docentes

Tipo de espacio específico	**DPEA (W/m^2)**
Aulas	13.35
Bodegas	6.78
Consultorios	17.87
Escaleras	7.43
Laboratorio escolar	13.78
Oficina abierta	10.55
Oficina cerrada	11.95
Pasillos	7.10

Salas de juntas	13.24
Salas de usos múltiples	13.24
Salas de capacitación	13.35
Sanitarios	10.55
Talleres	17.11

Fuente: Anexo C de la NOM-007-ENER-2014

3.4.1. Método de cálculo de densidad de potencia eléctrica para alumbrado DPEA

El procedimiento empleado para evaluar la eficiencia energética está descrito en la NOM-007-ENER-2014, el cual indica que es obligatoria para edificaciones nuevas, pero que será de utilidad como un indicador para medir el grado de eficiencia que se tiene en el alumbrado del edificio.

Una vez realizada la comprobación de la carga total instalada, se identifica el tipo de edificio a analizar, para conocer en que clasificación se encuentra basada en la Tabla 7 realizada por la norma, asimismo, se deben identificar los espacios que conforman la edificación, y con ello los usos y actividades que se desempeñan en ellos.

Al obtener el área y la carga total conectada de cada espacio de estudio, se determina la DPEA y se compara con el valor mostrado por la norma para el tipo de edificio de interés, presentado de igual manera en la Tabla 7, la cual nos muestra el valor que no debe exceder.

La NOM-007-ENER-2014, muestra la expresión genérica para el cálculo de DPEA en sistemas de alumbrado para edificios no residenciales nuevos, ampliaciones o modificaciones, con la siguiente expresión:

$$DPEA = \frac{Carga\ total\ conectada\ para\ alumbrado}{Área\ total\ iluminada} \quad Ec.(6)$$

El valor de DPEA está expresado en W/m^2; es decir, la carga total de alumbrado se expresa en watts y el área total iluminada en metros cuadrados.

3.5. Procedimiento para la sustitución de lámparas Fluorescentes por LEDs

En esta sección, se presenta el procedimiento completo para realizar la sustitución de las lámparas de las luminarias mediante diagramas de flujo. Primero se presenta un diagrama de flujo nombrado “identificar” (Figura 20), donde se muestra cómo se realiza la inspección visual del estado de las lámparas fluorescentes y balastros electrónicos, con el propósito de llevar un control de los equipos que se pueden reutilizar para otros edificios como material de repuesto, dado que existen luminarias con lámparas fuera de operación.

En un segundo diagrama (Figura 21) se muestra la secuencia a seguir para sustituir lámparas fluorescentes T8 (incluyendo el balastro) por lámparas LED T8. En la siguiente sección se explica de manera más detallada.

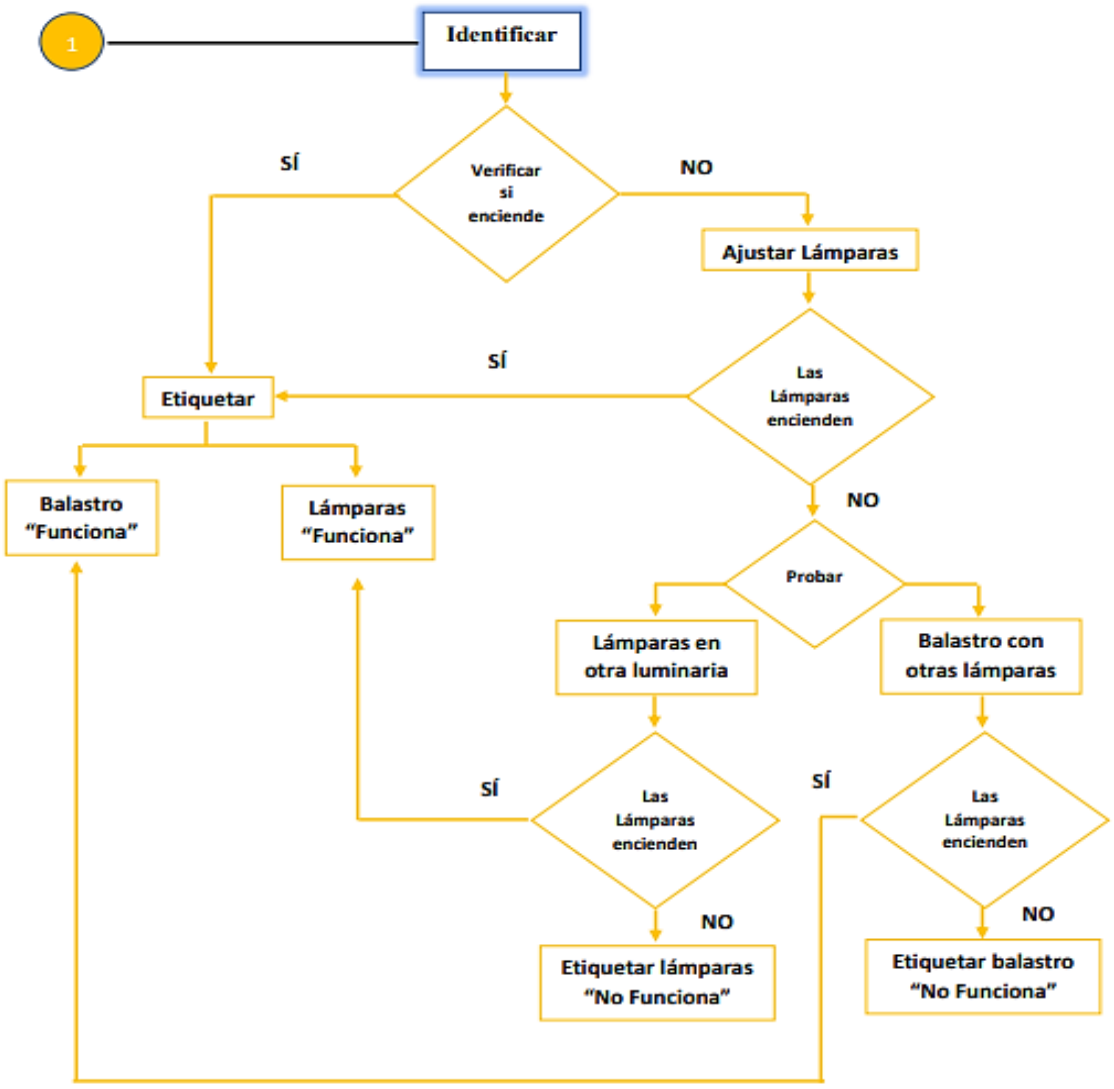


Figura 20. Diagrama de flujo "Identificar"

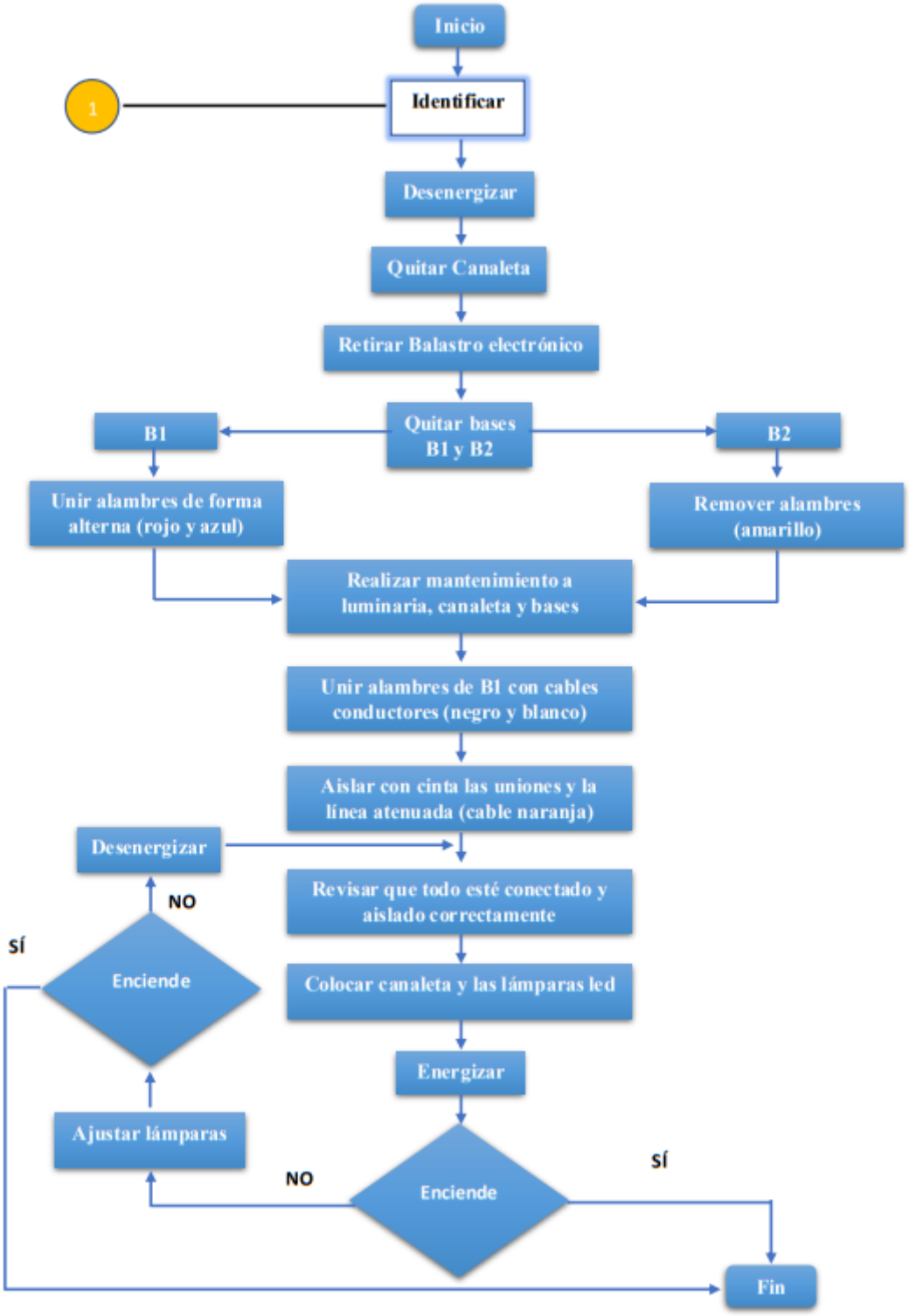


Figura 21. Diagrama de flujo. "Sustitución de Lámparas"

3.6. Metodología de sustitución de lámparas (paso a paso)

Con la finalidad de obtener una guía ejemplificada de la forma más sencilla posible, se lleva a cabo un listado de los pasos a seguir (apoyado de imágenes) del procedimiento completo de la sustitución de lámparas en el sistema de iluminación del edificio A. Cabe resaltar, que antes de iniciar con el primer punto de la lista (Figura 21), se deben realizar las acciones presentadas en el diagrama de flujo "identificar" (Figura 20), debido a que como se mencionó, no todas las lámparas de las áreas de trabajo se encuentran encendidas.

Dicho lo anterior, se empieza por inspeccionar de forma visual las luminarias que se encuentran con lámparas apagadas o fuera de funcionamiento. Del diagrama de flujo "Identificar", se tienen 3 conjeturas: la primera es que las lámparas de la luminaria se encuentren mal conectadas, para saberlo solo se deben ajustar los tubos de iluminación los cuales hacen que los zócalos giren para que exista continuidad y las lámparas enciendan; la segunda es que las lámparas de la luminaria estén fundidas, por lo cual son probadas en otra luminaria que tenga lámparas encendidas, y la tercer hipótesis viene de la mano de la anterior, puesto que si las lámparas encienden al probarlas en otra luminaria funcional, la conclusión es que el balastro de la luminaria está dañado, solo para corroborar que es el balastro, se realiza una prueba instalando lámparas en buenas condiciones.

Nota: Todas las lámparas funcionales o no, son etiquetadas, al igual que los balastros que no funcionan. Cabe resaltar que, los siguientes puntos fueron realizados, pensando en que la luminaria cuenta con las lámparas fluorescentes en operación.

A continuación, se inicia con el listado:

1. Como no se cuenta con un apagador en el área, se desenergiza desde la subestación del edifico A.
2. Se verifica que se encuentra desenergizada, al observar que las lámparas se apagan en la luminaria (Figura 22).



Figura 22. Luminaria desenergizada

3. Para retirar las lámparas de la luminaria, se giran los seguros de la rejilla que se encuentran en la parte superior de la luminaria (Figura 23).

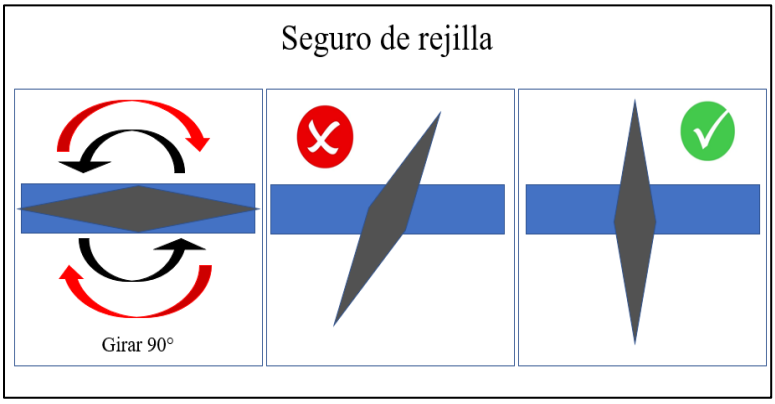


Figura 23. Representación del seguro en la luminaria

4. Con la rejilla abierta (Figura 24), se manipulan las lámparas fluorescentes para rotar la base que las sostiene, con el fin de poder extraer cada tubo de la luminaria.



Figura 24. Luminaria abierta

5. Al quitar las lámparas fluorescentes, hay una canaleta la cual tiene dos funciones: ocultar el balastro y el cableado, además de funcionar como reflector (Figura 25). Para bajar la canaleta se deben quitar dos tornillos, los cuales están colocados de manera individual en los extremos.

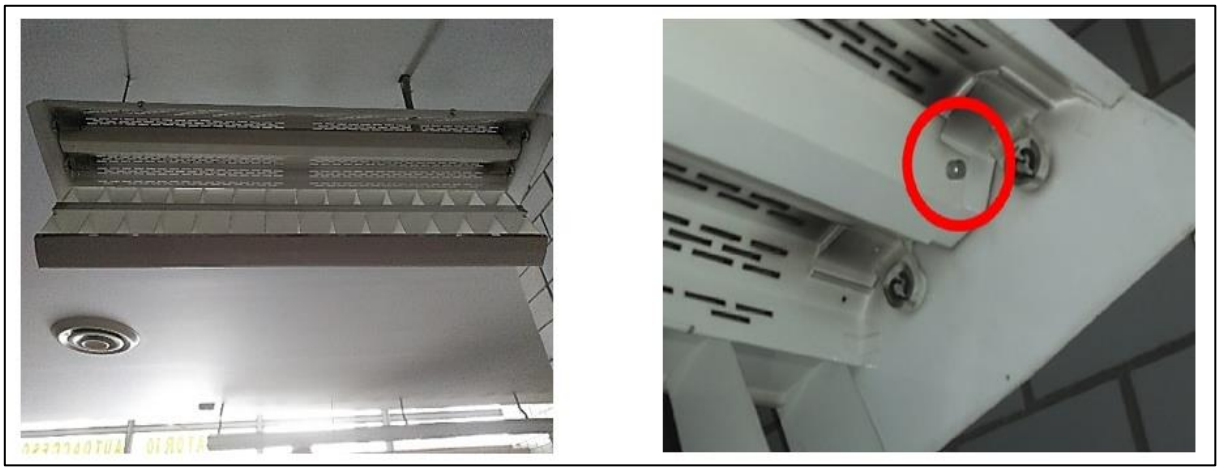


Figura 25. Luminaria sin lámparas, tornillo que sostiene la canaleta

6. Dentro de la luminaria se encuentran dos bases en cada extremo de la luminaria (Figura 26), siendo estos el soporte de las lámparas (4 bases por luminaria).

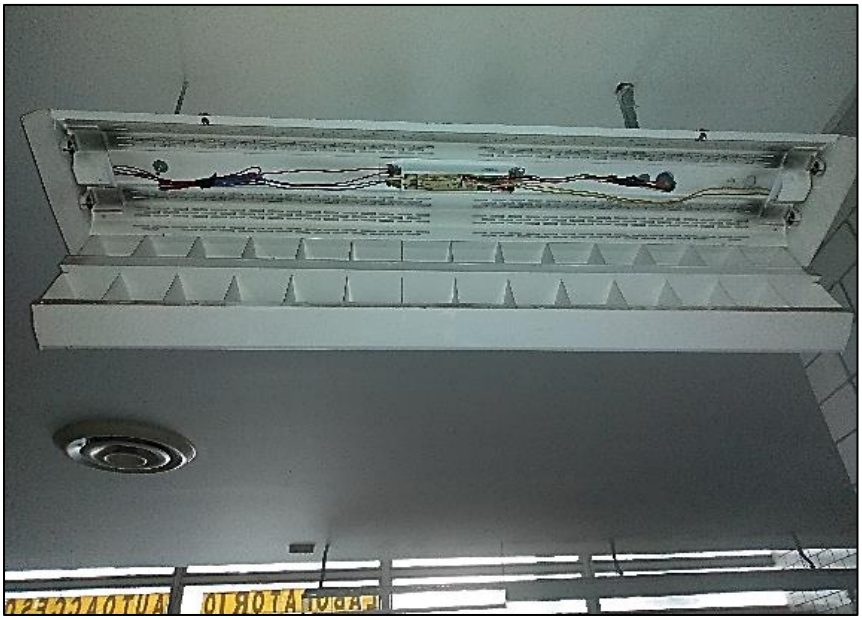


Figura 26. Luminaria sin canaleta

7. Se retiran las bases que se encuentran en cada extremo de la luminaria y se cortan los cables que lo unen con el balastro (Figura 27).

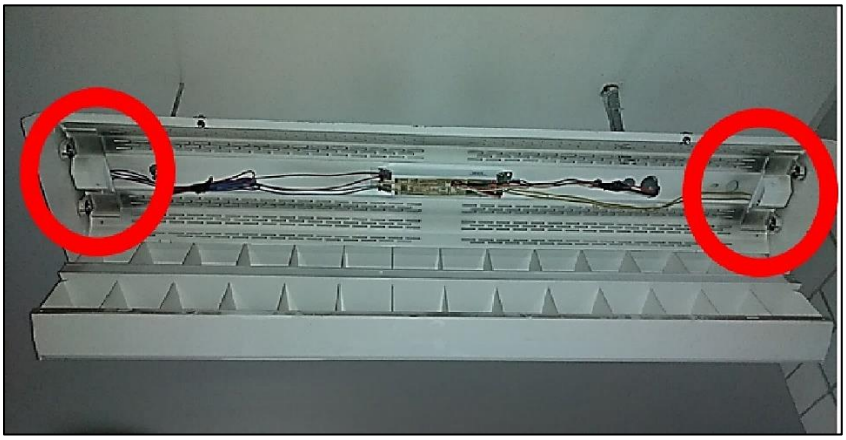


Figura 27. Bases, parte de la luminaria

8. Una de las bases cuenta con 4 cables amarillos que alimentan la corriente eléctrica al balastro, los cuales están puenteados en las bases (Figura 28). Estos cables son retirados de la base, pues solo funcionará de apoyo para que los zócalos sostengan las lámparas.

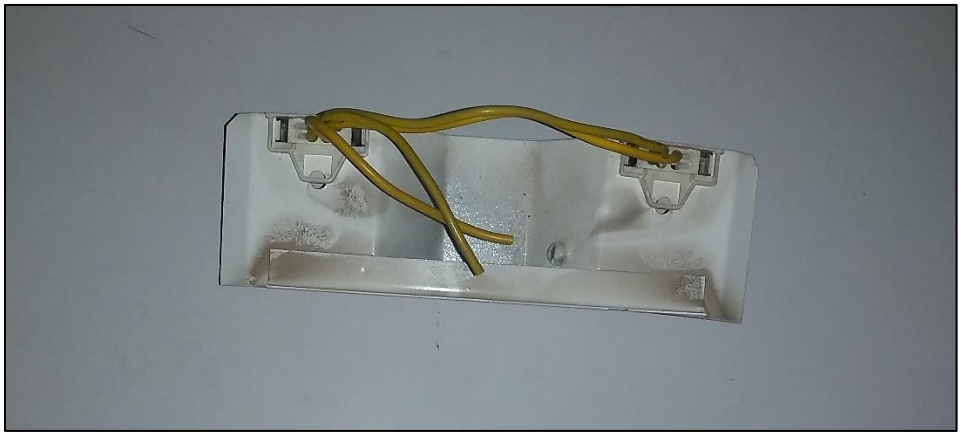


Figura 28. Base con alambres amarillos

9. Al igual que la base anterior, la base del otro extremo tiene 4 cables, solo que los colores cambian a rojo y azul (Figura 29), éstos van conectados a la fase y al neutro de la instalación, de la misma manera son desconectados, pero se dejan enchufados a las bases y se entrelazan de forma alterna (un rojo y un azul) hasta alcanzar dos uniones o trenzas.

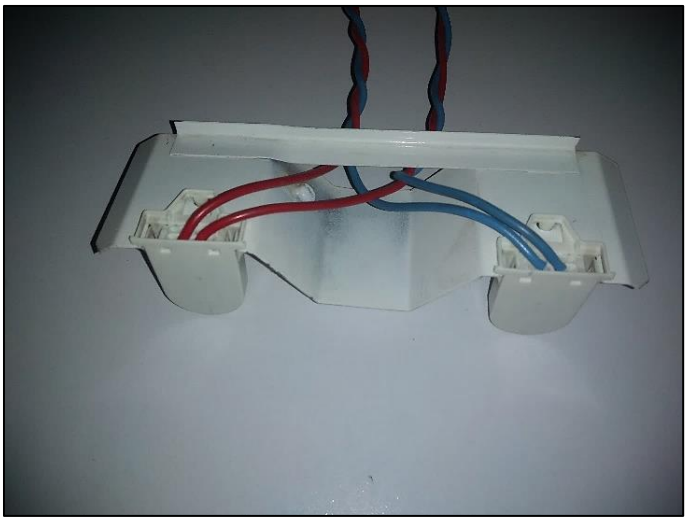


Figura 29. Base con alambres rojo y azul

10. Se retira el balastro (Figura 30), el cual está sujeto de un tornillo con su tuerca y del otro, por parte de la luminaria.



Figura 30. Balastro

11. De la instalación salen tres cables de distintos colores, lo cuales son blanco (neutro), negro (línea o fase), y naranja (línea atenuada), al igual que en las bases son desconectados del balastro y la línea atenuada se aísla con cinta, puesto que se dejará de utilizar (Figura 31).



Figura 31. Cables de la instalación

12. En este momento el balastro deja de ser parte de la instalación, es guardado y etiquetado “No funciona” si ese es su estado.
13. Tras retirar las bases y la canaleta, se limpian al igual que a la luminaria, debido a que están llenos de polvo y manchados (Figura 32).



Figura 32. Partes del sistema de la luminaria

14. La reconexión (Figura 33), se inicia con la conexión del cable de tierra siendo sujetada con el tornillo que sostenía al balastro.



Figura 33. Alambre Tierra

15. La base con los cables (rojo y azul) es colocada en el extremo donde las salidas del sistema estén más cerca, una vez colocada el cable blanco (neutro) y negro (fase o línea) son unidos sin importar el orden y son aislados con cinta (Figura 34).



Figura 34. Cableado de la instalación

16. Posteriormente se acomodan las conexiones, para facilitar la colocación de la canaleta y se asegura con sus tornillos (Figura 35).



Figura 35. Luminaria reconectado

17. Se incorporan las lámparas led, las cuales serán colocadas donde el lado de las conexiones y el etiquetado de las lámparas coincida (si son colocadas al revés no encenderán), se giran las lámparas que al tiempo hace rotar las bases de cada extremo, con el propósito de que las lámparas se aseguren y exista continuidad para que puedan encender (Figura 36).



Figura 36. Luminaria con lámparas LED

18. Para finalizar, solo se levanta la rejilla para sujetarla con el seguro.
19. Como último paso, se energiza el sistema de iluminación para que encienda la lámpara LED (Figura 37).

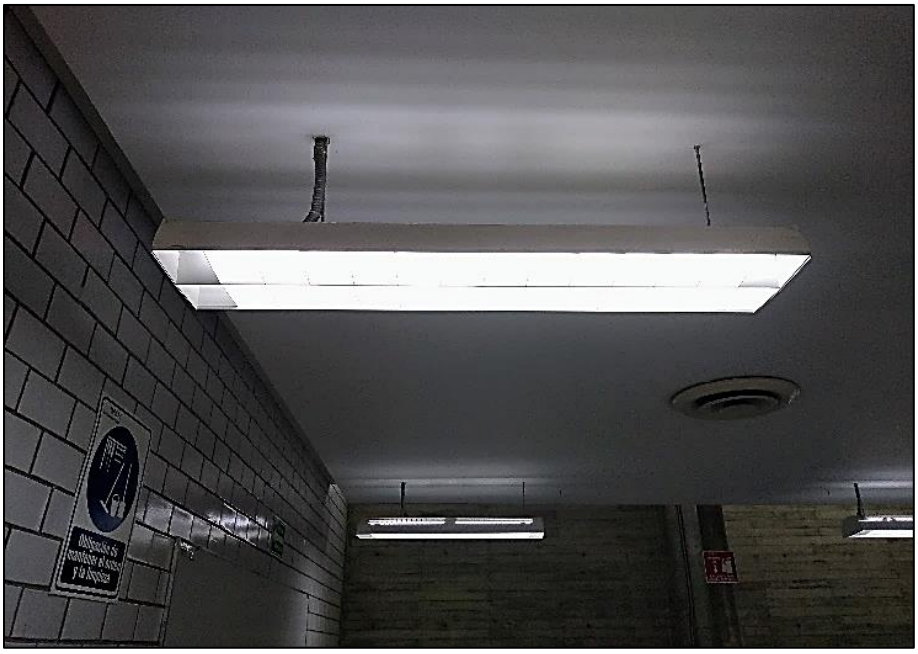


Figura 37. Luminaria con lámparas LED encendidas

Nota: Si por algún motivo las lámparas LED instaladas, no encienden, se deben rotar a manera de ser ajustadas para que exista continuidad, en el caso de no encender, se debe regresar al paso número 15, apoyados de los pasos ya realizados.

Capítulo IV. Desarrollo

El objetivo principal en este proyecto es realizar la evaluación normativa del cambio de tecnología en el sistema de iluminación del edificio A del plantel San Lorenzo Tezonco, es decir, antes y después de realizar la sustitución de lámparas en luminarias; por ello que, en esta sección se presenta la medición de niveles de iluminación, comparándolos con los niveles establecidos en la NOM-025-STPS-2008. De igual manera, se muestran los niveles de eficiencia energética, realizando el cálculo de la DPEA, indicador que también es comparado con la NOM-007-ENER-2014.

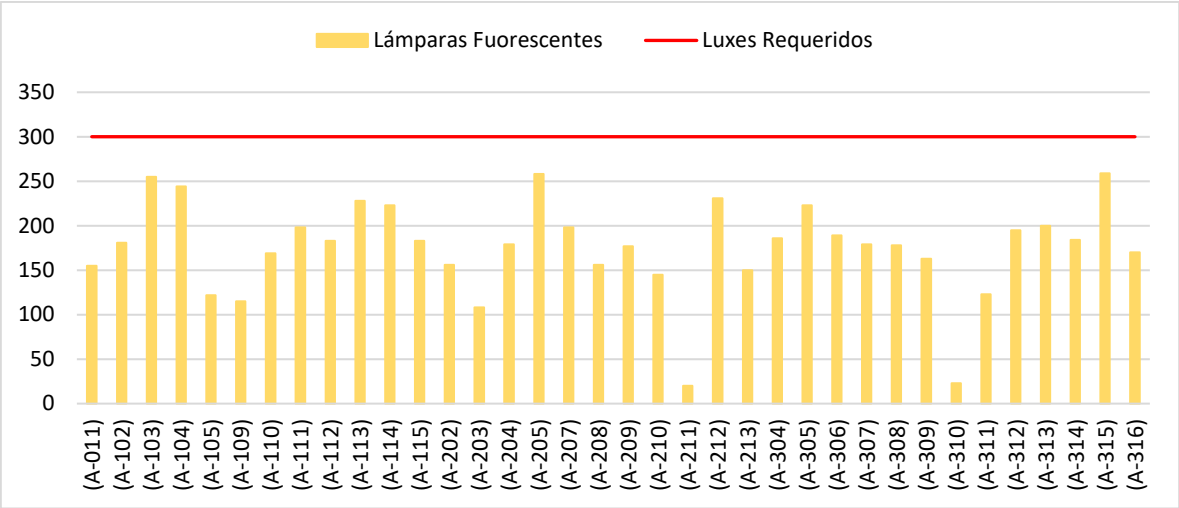
4.1. Nivel de iluminación con lámparas fluorescentes

Se inicia con las mediciones de los niveles de iluminación que se tienen con lámparas fluorescentes, los valores serán censados y recopilados en el formato mencionado anteriormente (Anexo 6), después la información se captura en una base de datos para determinar los niveles de iluminancia promedio (en luxes), de todas las áreas que conforman el edificio A.

En la evaluación normativa de los niveles de iluminación, se emplea la Tabla 5 como referencia, la cual tiene agrupadas las áreas de estudio del edificio A y el nivel mínimo de iluminación necesario para los espacios de trabajo. El método para medir los niveles de iluminación se encuentra descrito en la metodología, en donde se define el número de puntos y las zonas correspondientes para cada área de estudio, utilizando el luxómetro a una altura de trabajo de 80 centímetros aproximadamente.

4.1.1. Nivel de iluminación en aulas

En la Gráfica 2 se presentan las mediciones de los niveles de iluminación promedio obtenidos en cada uno de los salones del edificio A. Estos valores promedio se obtienen de las 12 mediciones realizadas en este tipo de espacio. Además, se agrega una línea horizontal de color rojo que indica el valor mínimo requerido por la norma, el cual es de 300 luxes.



Gráfica 2. Nivel de iluminación con lámparas fluorescentes en salones en el edificio A

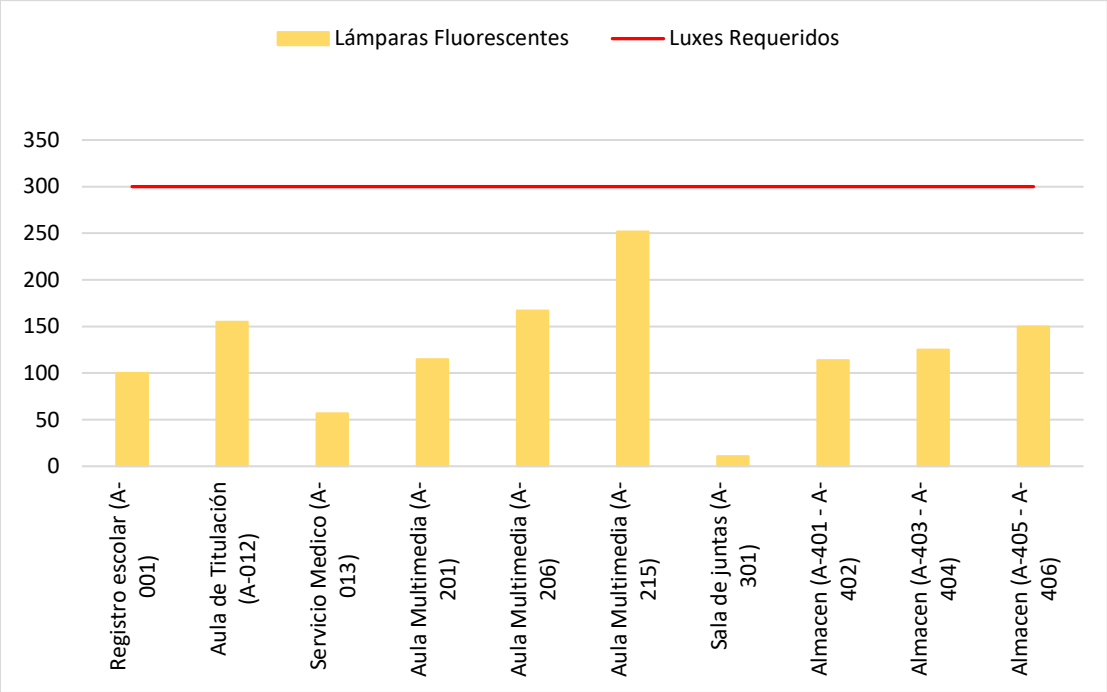
Como puede apreciarse en la Gráfica 2, los niveles de iluminación en los salones oscilan entre 20 y 259 luxes, por lo que parece extraño que los resultados no sean similares cuando se cuentan con el mismo sistema de iluminación. Además, se advierte que ninguna de las aulas alcanza el nivel de iluminación requerido por la norma.

Los salones con el nivel de iluminación más bajo son el A-211 y A-310, con 20 y 23 luxes, respectivamente. Una explicación aceptable, es que las lámparas fluorescentes se dejaron programadas para atenuar la iluminación al máximo mediante el sistema inteligente, ya que, al realizar en censo, sólo se detectaron dos lámparas fuera de operación, en cada uno de ellos.

Es importante mencionar que las mediciones de los niveles de iluminación se llevaron a cabo en 36 de los 39 salones existentes; es decir, el análisis se realiza en el 92% de los salones. El nivel de iluminación promedio en aulas es de 175 luxes.

4.1.2. Nivel de iluminación en áreas administrativas

Los niveles de iluminación de las áreas administrativas se pueden observar en la Gráfica 3, en donde la cantidad de iluminación requerida por la norma para las áreas administrativas (línea roja) es la misma de las aulas (300 luxes), debido a las tareas visuales que se desarrollan en ellas.



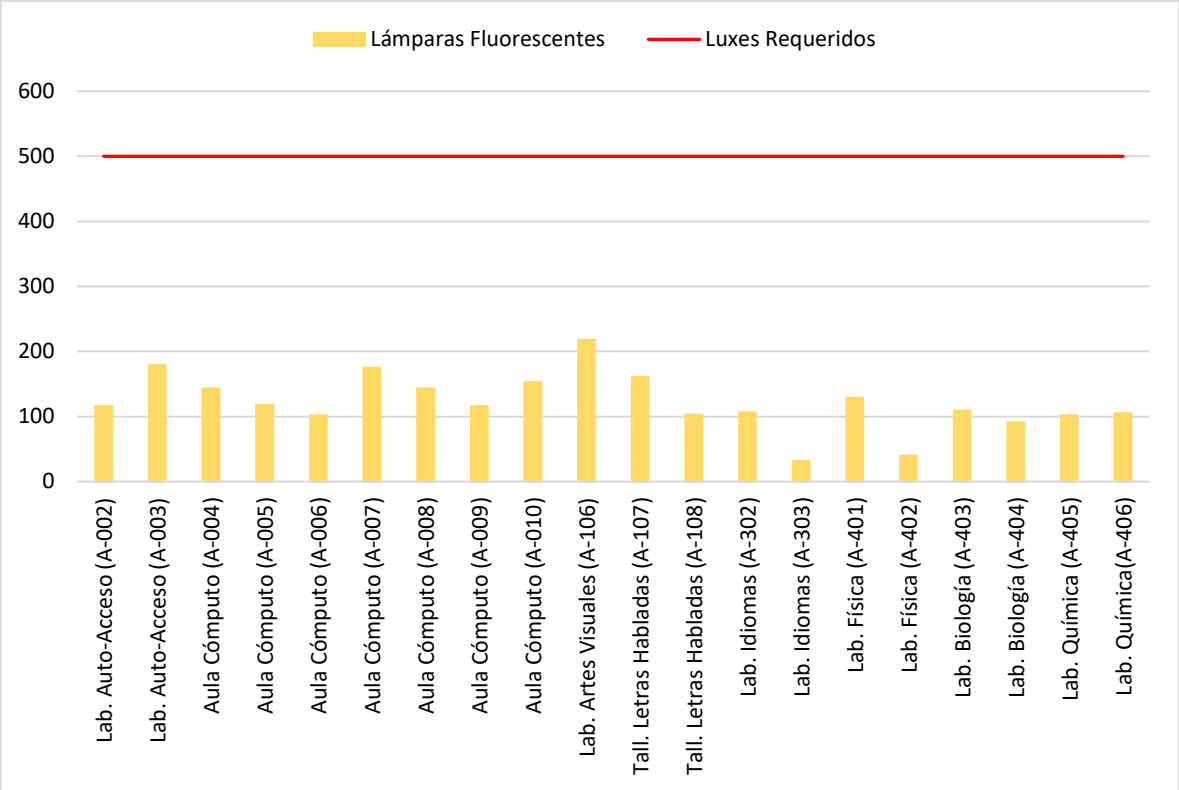
Gráfica 3. Niveles de iluminación con lámparas fluorescentes en áreas administrativas en el edificio A

El análisis de los niveles de iluminación de las áreas administrativas (Gráfica 3), permite apreciar que presenta un comportamiento irregular, lo cual puede deberse a que son distintas las dimensiones, la configuración y número de luminarias; no obstante, es evidente que ninguna cumple con la iluminancia necesaria para el cumplimiento de la norma.

Los niveles de iluminación más elevados se tienen en las aulas multimedia A-206 y A-215, donde se observó en el censo que todas las lámparas instaladas se encontraban en funcionamiento. Por el contrario, la sala de juntas tiene el nivel más bajo con solo 11 luxes, donde se observó que solo mantenía 5 luminarias en operación con atenuación en sus lámparas, un claro ejemplo de una deficiencia en los niveles de iluminación, ya que el personal disponía de un foco externo para iluminarse. Por su parte, el promedio de los niveles de iluminación de todas las áreas fue de 125 luxes.

4.1.3. Nivel de iluminación en laboratorios, aulas de cómputo y talleres

La Gráfica 4 muestra los niveles promedio de iluminación obtenidos en laboratorios, talleres y aulas de cómputo, donde la línea roja indica el valor requerido por la norma (500 luxes), debido a las actividades que se desarrollan en ellas.



Gráfica 4. Nivel de iluminación con lámparas fluorescentes en laboratorios, aulas de cómputo y talleres en el edificio A

En una revisión rápida de la Gráfica 4, es muy notorio que los niveles de iluminación obtenidos se encuentran muy por debajo de la norma. Es preciso tener presente que estas lámparas son atenuables y algunas no están en funcionamiento, además, de que ciertas áreas mantienen dimensiones más grandes razón que influye directamente en los resultados de las mediciones obtenidas. En particular, los laboratorios de física, química y biología no cuentan con el plafón, el cual contribuiría en la reflexión de la luz que producen las lámparas, motivo que también influye en los valores.

El nivel de iluminación promedio de todas estas áreas de estudio es de 122 luxes; aunque de manera particular, el promedio para los laboratorios es de 111 luxes, en talleres de 132 luxes y en las aulas de cómputo de 135 luxes.

4.2. Niveles de iluminación con lámparas LED

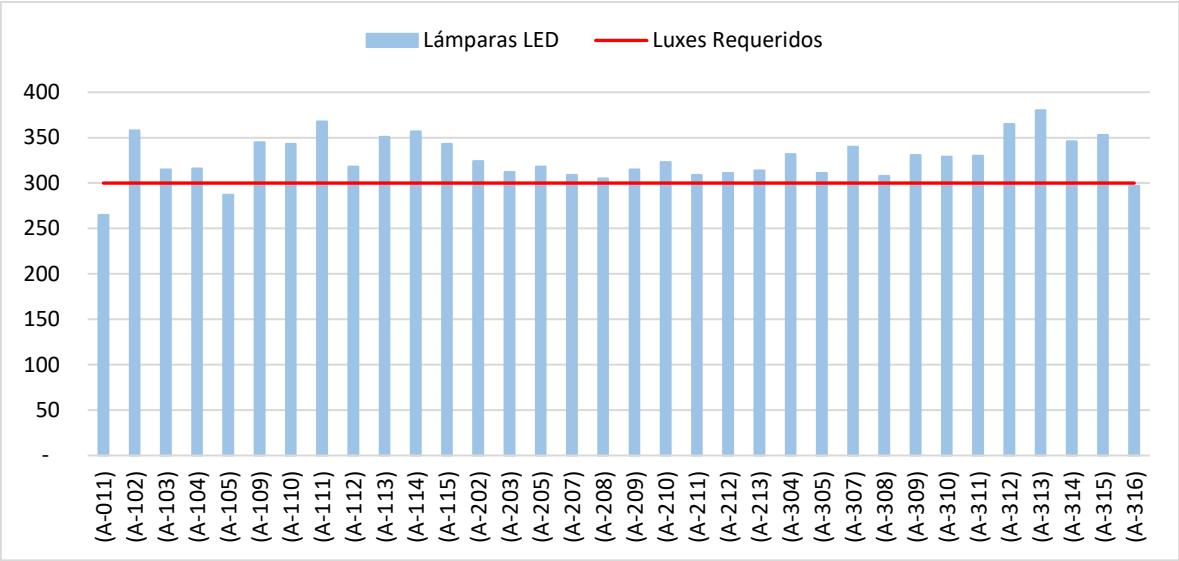
Las mediciones de los niveles de iluminación con lámparas LED T8, también fueron recopilados en el formato mencionado e insertados en la base de datos, a fin de obtener los niveles de iluminación promedio de todas las áreas del edificio A y verificar que los valores cumplen con los niveles mínimos de iluminación que establece la Norma Oficial Mexicana.

El procedimiento para realizar las mediciones con lámparas LED es el mismo que se utilizó para las lámparas fluorescentes y son analizadas en el mismo orden como en el caso de las lámparas fluorescentes.

4.2.1. Nivel de iluminación en aulas

Los niveles de iluminación en los salones se presentan en la Gráfica 5, donde la línea roja línea roja indica la cantidad de iluminación requerida por la Norma (de 300 luxes). En términos generales, más del 90% de los salones se encuentra por encima del valor mínimo, es decir, cumplen con los requerimientos de iluminación normativos.

Es preciso señalar que las mediciones de los niveles de iluminación con lámparas LED, se realizaron en el 87% de los salones, es decir, 34 de los 39 existentes (Gráfica 5), donde el 91% de las aulas obtiene valores promedio superiores al requerido por la norma. El promedio de todos los salones es de 325 luxes.



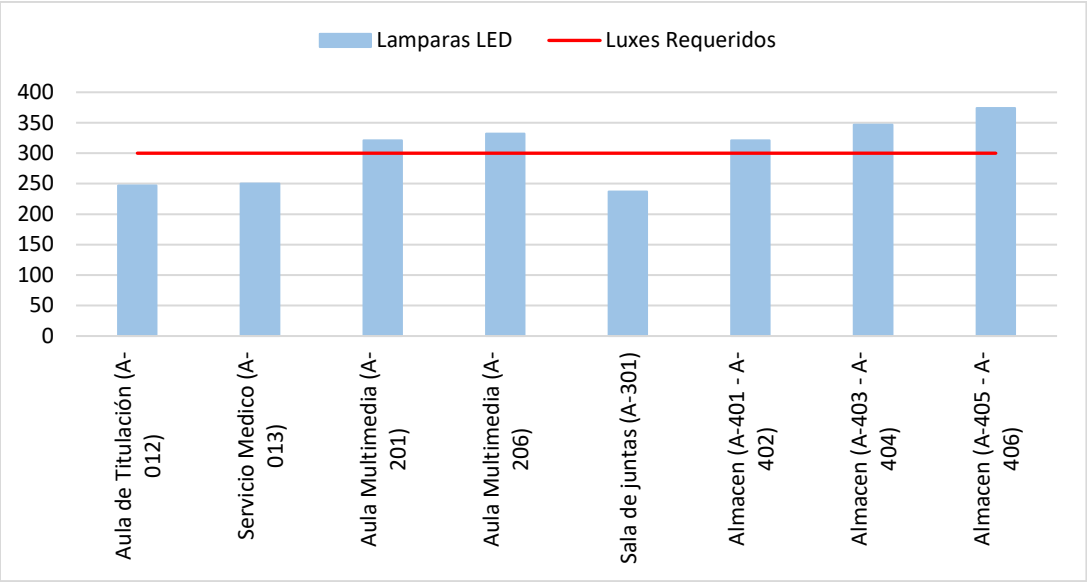
Gráfica 5. Niveles de iluminación con lámparas LED en salones en el edificio A

No obstante, hay tres aulas donde los niveles de iluminación, aunque próximos al mínimo requerido, no cumplen con la normativa. Tal es el caso del salón A-011 con un promedio de 265 luxes, el A-015 con 287 luxes y el salón A-306 con una media de 297 luxes.

4.2.2. Niveles de iluminación en áreas administrativas

El número de áreas administrativas donde se llevó a cabo las mediciones son 8 de las 10 existentes en el edificio, representando el 80% de las áreas. La Gráfica 6 muestra los resultados de las mediciones de los niveles de iluminación promedio obtenidos de las áreas administrativas con lámparas LED, la cual tiene un comportamiento irregular.

En la Gráfica 6 se puede observar que el 62% de las áreas analizadas cumple con los 300 luxes que establece la norma como el mínimo. Mientras que el 38% restante no alcanza la cantidad de iluminación requerida, estas áreas administrativas son: el aula de titulación con 247 luxes, el servicio médico con 250 luxes y la sala de juntas, quien obtiene el nivel más bajo con 237 luxes. La media de los promedios obtenidos para todas las áreas administrativas es de 303 luxes.

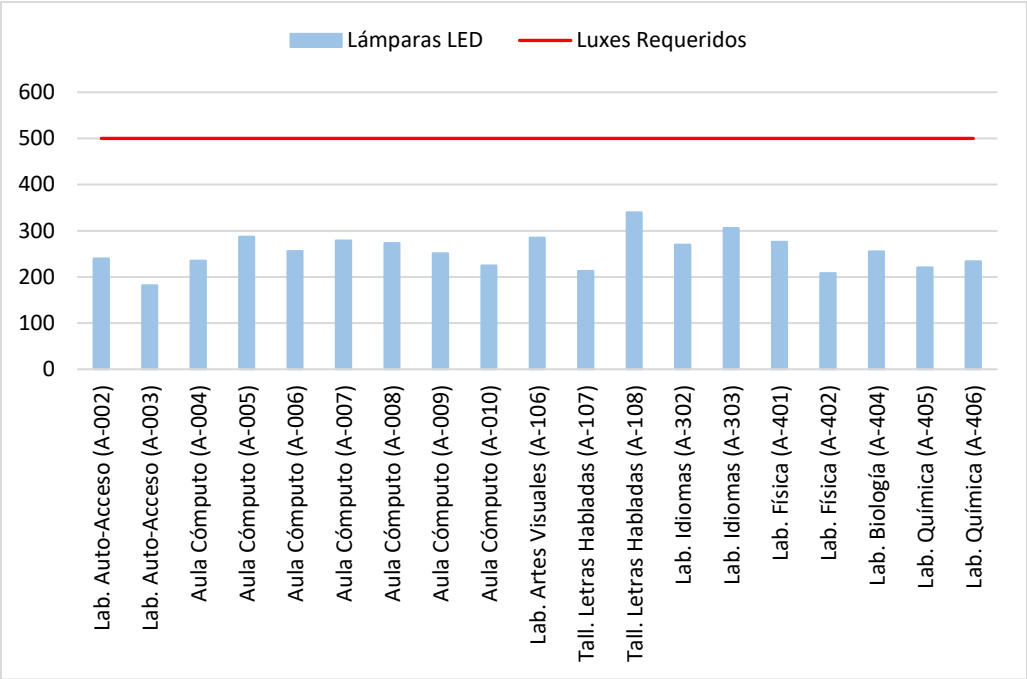


Gráfica 6. Niveles de iluminación con lámparas LED en áreas administrativas en el edificio A

4.2.3. Nivel de iluminación en laboratorios, talleres y aulas de cómputo

Con respecto a los laboratorios, talleres y aulas de cómputo, en la Gráfica 7 presentan los niveles de iluminación para estas áreas, con excepción del laboratorio de biología A-403, el cual no se encontraba energizado en su totalidad, motivo por el cual no se realizaron las mediciones correspondientes. La línea roja indica el valor requerido por la NOM-025-STPS-2008 de 500 luxes.

En una revisión global de los laboratorios, talleres y aulas de cómputo, se observa que el nivel de iluminación promedio de todas las áreas es de 224 luxes; donde los laboratorios tienen 248 luxes, talleres 276 luxes y las aulas de cómputo 258 luxes. Si la cantidad de iluminación requerida por la norma es de 500 luxes, se deduce que no cumplen con la norma.



Gráfica 7. Niveles de iluminación con lámparas LED en laboratorios, talleres y aulas de cómputo en el edificio A

4.3. Nivel de eficiencia energética con lámparas fluorescentes

De acuerdo con la NOM-007-ENER-2014, el valor de 14 W/m^2 corresponde a la densidad de potencia eléctrica para alumbrado en escuelas e instituciones educativas. El edificio A tiene un área aproximada de 4,200 m^2 y una carga instalada de 47.082 kW con lámparas fluorescentes, por lo que el DPEA correspondiente es de 11.21 W/m^2.

En la determinación de los niveles de eficiencia energética (DPEA) por actividad, se emplea la siguiente información:

- Actividad: indica el uso principal que se realiza en dicho espacio.
- Cantidad: se refiere el número de áreas con la misma actividad que hay en el edificio.
- No. Luminarias: es el total de luminarias que conforman el sistema de iluminación para esa área.
- Pot. Total instalada: es la suma de la potencia nominal (en watts) de cada luminaria que hay en el área correspondiente.

- Área iluminada: área total iluminada por las lámparas.
- DPEA obtenido: densidad de potencia (W/m^2) que hay en el área correspondiente.
- DPEA NOM: valor establecido por la norma (W/m^2) para cada área, información que se puede consultar en el Anexo C de la NOM-007-ENER-2014.

4.3.1. Nivel de eficiencia energética en aulas

Las aulas representan el 49% de la totalidad de las áreas del edificio. En la Tabla 9 se muestra el valor de la DPEA obtenido para aulas de 11.45 W/m^2 (marcado color verde), valor que se mantiene por debajo del valor de la DPEA de la norma en un 14.23%; en otras palabras, todos los salones cumplen con el nivel de eficiencia energética.

Tabla 9. Eficiencia energética en aulas en el edificio A, con lámparas fluorescentes

Actividad	Cantidad	No Luminarias	Pot. Total instalada (W)	Área Iluminada (m^2)	DPEA obtenido (W/m^2)	DPEA NOM (W/m^2)
Salón	39	9	598.5	52.25	11.45	13.35

4.3.2 Nivel de eficiencia energética en áreas administrativas

El 13% de la superficie del total del edificio corresponde a las áreas administrativas, de las cuales en su mayoría cumple con los niveles de eficiencia energética resaltados en color verde (Tabla 10), dado que no rebasan el valor límite permisible por la norma.

Tabla 10. Eficiencia energética en áreas administrativas en el edificio A, con lámparas fluorescentes

Actividad	Cantidad	No Luminarias	Pot. Total instalada (W)	Área Iluminada (m^2)	DPEA obtenido (W/m^2)	DPEA NOM (W/m^2)
Registro escolar	1	16	1064	106.7	9.97	10.55
Aula de titulación	1	8	532	60.5	8.79	14

Actividad	Cantidad	No Luminarias	Pot. Total instalada (W)	Área Iluminada (m^2)	DPEA obtenido (W/m^2)	DPEA NOM (W/m^2)
Servicio médico	1	9	598.5	60.5	9.89	17.87
Aula multimedia	1	18	1197	104.5	11.45	14
Aula multimedia	2	9	598.5	52.25	11.45	14
Sala de juntas	1	9	598.5	52.25	11.45	13.24
Almacenes	3	9	598.5	27.5	21.76	14

Los almacenes son los únicos que no cumplen con el valor de la DPEA de la NOM, excediendo un 55.43% el valor establecido, esto se debe a que el área a iluminar es bastante pequeña para el número de luminarias que conforman el sistema de iluminación.

4.3.3 Nivel de eficiencia energética en laboratorios, aulas de cómputo y talleres

Los laboratorios, aulas de cómputo y talleres representan el 38% de las áreas del edificio; las cuales fueron agrupadas debido a la coincidencia de actividades, área iluminada y el número de luminarias. En el caso específico de los laboratorios de auto – acceso están de forma individual, ya que son diferentes sus dimensiones y el número de luminarias, por ende, el resultado de la DPEA.

Tabla 11. Eficiencia energética en aulas de cómputo, laboratorios y talleres en el edificio A, con lámparas fluorescentes

Actividad	Cantidad	No. Luminarias	Pot. Total instalada (W)	Área Iluminada (m^2)	DPEA obtenido (W/m^2)	DPEA NOM (W/m^2)
Laboratorio Auto - acceso	1	22	1463	149.6	9.77	13.78
Laboratorio Auto - acceso	1	14	931	106.5	8.74	13.78

Aulas de Cómputo	7	9	598.5	60.5	9.89	14
Laboratorio Artes Visuales	1	9	598.5	52.25	11.45	13.78
Taller de Letras Habladas	1	9	598.5	52.25	11.45	17.11
Laboratorio de Idiomas	2	9	598.5	52.25	11.45	13.78
Laboratorio de Física	2	18	1197	106.7	11.21	13.78
Laboratorio de Química	2	18	1197	106.7	11.21	13.78
Laboratorio de Biología	2	18	1197	106.7	11.21	13.78

Los valores de las DPEA obtenidas en laboratorios, aulas de cómputo y talleres se muestran en la Tabla 11, donde se puede observar que el valor obtenido es menor al valor de la DPEA de la norma, por lo que todos son marcados en verde, ya que todas estas áreas cumplen con los niveles de eficiencia energética.

4.4. Nivel de eficiencia energética con lámparas LED

El valor correspondiente de la densidad de potencia eléctrica para alumbrado con tecnología LED, considera un área aproximada del edificio A de 4,200 m^2 y una carga instalada de 25.488 kW, obteniendo un valor de 6.06 W/m^2.

Las tablas con los niveles de eficiencia energética (DPEA) para cada uno de los grupos en las que fueron clasificadas, contienen la misma información que con lámparas fluorescentes, donde también se resalta la columna del DPEA obtenido en color verde si cumple o de lo contrario en color rojo si no cumple.

4.4.1. Nivel de DPEA en aulas

En la Tabla 12 se muestra el valor de la DPEA obtenido para las aulas, el cual es marcado en color verde, ya que se mantiene por debajo del valor de la norma, lo que quiere decir que todos los salones cumplen con los niveles de eficiencia energética. El valor del DPEA obtenido con las lámparas LED es de 6.2 W/m^2, lo cual representa un 53.55% por debajo de la norma.

Tabla 12. Eficiencia energética en aulas en el edificio A, con lámparas LED

Actividad	Cantidad	No Luminarias	Pot. Total instalada (W)	Área Iluminada (m^2)	DPEA obtenido (W/m^2)	DPEA NOM (W/m^2)
Salón	39	9	324	52.25	6.2	13.35

4.4.2 Nivel de DPEA en áreas administrativas

Los valores obtenidos de DPEA en las áreas administrativas se muestran en la Tabla 13, donde se puede observar que todas las áreas están marcadas en color verde, ya que se mantienen debajo del valor de la DPEA de la norma; en otras palabras, todas las áreas administrativas cumplen con los niveles de eficiencia energética.

Tabla 13. Eficiencia energética en áreas administrativas en el edificio A, con lámparas LED

Actividad	Cantidad	No Luminarias	Pot. Total instalada (W)	Área Iluminada (m^2)	DPEA obtenido (W/m^2)	DPEA NOM (W/m^2)
Registro Escolar	1	16	576	106.7	5.39	10.55
Aula de titulación	1	8	288	60.5	4.76	14
Servicio médico	1	9	324	60.5	5.35	17.87

Actividad	Cantidad	No Luminarias	Pot. Total instalada (W)	Área Iluminada (m^2)	DPEA obtenido (W/m^2)	DPEA NOM (W/m^2)
Aula multimedia	1	18	648	104.5	6.2	14
Aula multimedia	2	9	324	52.25	6.2	14
Sala de juntas	1	9	324	52.25	6.2	13.24
Almacenes	3	9	324	27.5	11.78	14

4.4.3 Nivel de DPEA en laboratorios, aulas de cómputo y talleres

Por finalizar, la Tabla 14 presenta los niveles de eficiencia energética en los laboratorios, talleres y aulas de cómputo. La columna de la DPEA obtenido resalta en color verde, dicho en otras palabras, el análisis general de eficiencia energética en estas áreas cumple con los requerimientos de la norma.

Tabla 14. Eficiencia energética en aulas de cómputo, laboratorios y talleres en el edificio A, con lámparas LED

Actividad	Cantidad	No Luminarias	Pot. Total instalada (W)	Área Iluminada (m^2)	DPEA obtenido (W/m^2)	DPEA NOM (W/m^2)
Laboratorio Auto - acceso	1	22	792	149.6	5.29	13.78
Laboratorio Auto - acceso	1	14	504	106.5	4.73	13.78
Aulas de Cómputo	7	9	324	60.5	5.35	14
Laboratorio Artes Visuales	1	9	324	52.25	6.2	13.78
Taller de Letras Habladas	1	9	324	52.25	6.2	17.11
Laboratorio de Idiomas	2	9	324	52.25	6.2	13.78

Actividad	Cantidad	No Luminarias	Pot. Total instalada (W)	Área Iluminada (m^2)	DPEA obtenido (W/m^2)	DPEA NOM (W/m^2)
Laboratorio de Física	2	18	648	106.7	6.08	13.78
Laboratorio de Química	2	18	648	106.7	6.08	13.78
Laboratorio de Biología	2	18	648	106.7	6.08	13.78

Al realizar un análisis general de los niveles de eficiencia energética de la Tabla 14, se obtuvo un DPEA de 5.8 W/m^2, el cual está más de un 50% por debajo del valor de la DPEA de la norma.

Capítulo V. Análisis de resultados

En la evaluación del cumplimiento de las normas referenciadas del proyecto de sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas Led, se encontraron resultados positivos en los niveles de eficiencia energética al obtener valores DPEA por debajo del valor normativo. Sin embargo, con respecto a los niveles de iluminación se observó que aún existen algunas áreas en donde no se alcanza la cantidad de iluminación requerida.

En esta sección se realiza un análisis comparativo del sistema de iluminación del edificio A, resultado de la sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas Led, en donde se hace una estimación del ahorro de energía, considerando sólo la potencia nominal de las lámparas. Asimismo, se evidencia el aumento de los niveles de iluminación y la mejoría en niveles de eficiencia energética.

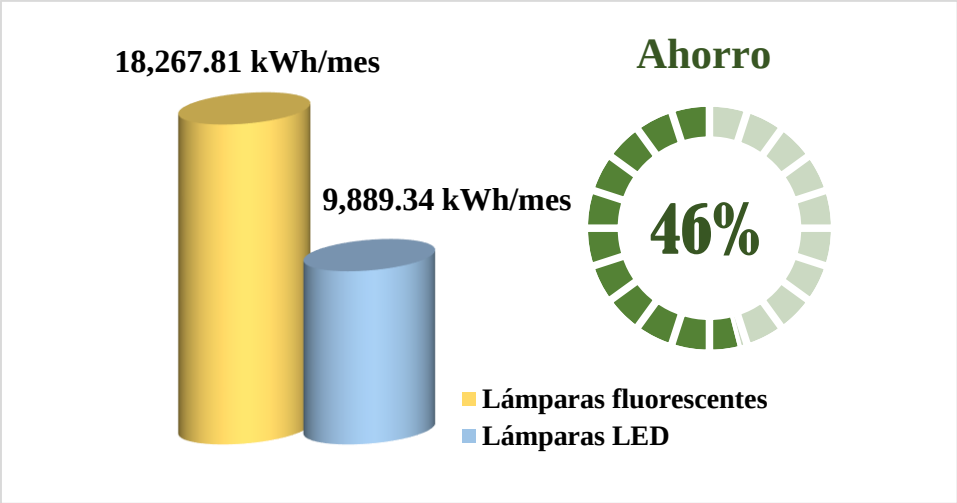
5.1. Ahorro de energía en el sistema de iluminación

Mediante el censo de carga instalada en el sistema de iluminación del edificio A y un estimado de las horas de operación, se calcula el consumo de energía de las luminarias para ambas tecnologías, en donde la diferencia en el consumo de energía representa el ahorro que se obtiene al realizar la sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LED.

Es de suma importancia resaltar, que el sistema de iluminación fue diseñado para operar con un control automático inteligente y lámparas fluorescentes, las cuales se encontraban operando a diferentes niveles de atenuación (50% durante el día y en la noche a 80%), a fin de reducir su consumo, por lo que muchas de las lámparas fluorescentes funcionaban por debajo de su máxima capacidad, tanto en el nivel de iluminación como en el consumo de energía, y por ende, no consumen lo que se estimó en el cálculo de la energía consumida.

La Gráfica 8 contiene la información del cálculo estimado de la energía consumida en el sistema de iluminación con ambas tecnologías, donde se observa la disminución de la carga total instalada al realizar la transición de tecnología. La reducción se estimó en 8,378

kWh/mes, pasando de 18,268 kWh/mes con lámparas fluorescentes a 9,889 kWh/mes con lámparas LED, representando una disminución del 46% en el consumo de energía.



Gráfica 8. Energía consumida y ahorro por sustitución de lámparas en luminarias en el edificio A

De acuerdo con la facturación eléctrica del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, se puede dar una idea del ahorro económico que se obtiene al realizar la sustitución de lámparas en el sistema de iluminación. La Tabla 15, se muestra un resumen de los datos de facturación eléctrica del plantel SLT (de enero a agosto de 2020), donde se puede observar la demanda eléctrica, el consumo de energía, la facturación total de la Universidad y el costo unitario de electricidad, obteniendo un costo unitario de 2.48 $/kWh.

Tabla 15. Facturación eléctrica 2020 Plantel San Lorenzo Tezonco, UACM

Mes	Demanda eléctrica (kW)	Consumo (kWh/mes)	Facturación total ($/mes)	Costo unitario ($/kWh)
Enero	90,020	114,415	294,980	2.58
Febrero	102,037	128,808	333,015	2.59
Marzo	101,770	130,673	334,065	2.56
Abril	81,831	109,391	274,873	2.51
Mayo	82,281	113,003	275,928	2.44
Junio	76,845	108,772	266,508	2.45
Julio	79,574	111,941	271,709	2.43

Mes	Demanda eléctrica (kW)	Consumo (kWh/mes)	Facturación total ($/mes)	Costo unitario ($/kWh)
Agosto	72,082	110,969	256,873	2.31
Promedio	85,805	115,997	288,494	2.48

Con el cálculo estimado del consumo de energía, se obtuvo una reducción de 8,378 kWh/mes que, al multiplicarlo con el costo unitario promedio, se obtiene un ahorro económico de 20,778.6 pesos al mes, lo que representa 7% de la facturación promedio total.

5.2. Comparación de los niveles de iluminación

Una vez realizada la evaluación de los niveles de iluminación antes y después de la sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LED, se lleva a cabo un análisis en conjunto, donde se unen los niveles promedio resultado de las mediciones con el objeto de comparar el aumento de iluminación.

A manera de resumen, la Tabla 16 muestra la cantidad de áreas de estudio donde se realiza el análisis comparativo, dado que son el total de áreas donde se llevaron a cabo las mediciones con lámparas LED. Del mismo modo, se observa el porcentaje de cumplimiento de las áreas de estudio donde, por una parte, son resaltados de color verde si cumplen con la cantidad de iluminación, o de lo contrario, en rojo si no lo hacen. Asimismo, la Tabla presenta el aumento en porcentaje de los niveles promedio de iluminación que obtienen las lámparas LED frente a las lámparas fluorescentes.

Tabla 16. Cumplimiento normativo de los niveles de iluminación en el edificio A

Actividad	Cantidad	Área que cumple la norma (%)		Aumento de iluminación
		Lámparas Fluorescentes	Lámparas LED	
Salones	34	0 %	91%	46%
Áreas administrativas	8	0 %	62%	58%
Laboratorios, talleres y aulas de cómputo	19	0 %	0%	45%
Total	61	0 %	59%	50%

En el análisis general de los niveles de iluminación con ambas tecnologías se puede observar que ninguna de las áreas con lámparas fluorescentes cumple con el mínimo de iluminación que establece la norma; sin embargo, al llevar a cabo la sustitución con lámparas LED, muchas de las áreas de estudio logran cumplir la norma, además de presentar un aumento de iluminación frente a las lámparas fluorescentes.

Con la medición de los niveles de iluminación, es evidente que con la sustitución de las lámparas fluorescentes por lámparas LED se incrementaron los niveles; sin embargo, al revisar las características técnicas de las luminarias, se encontró que:

- El sistema de iluminación con tecnología fluorescente: cada luminaria cuenta con 2 lámparas fluorescentes de 32W T8, y cada lámpara fluorescente tiene un flujo luminoso nominal de 2,850 lm (ver Anexo 1); es decir, 5,700 lm por luminario.
- El sistema de iluminación con tecnología LED: cada luminaria cuenta con 2 lámparas LED de 18W T8, y cada lámpara LED tiene un flujo luminoso nominal de 2,100 lm (ver Anexo 2); es decir, 4,200 lm por luminario.

En términos nominales, las luminarias con lámparas fluorescentes tienen un 35% más de flujo luminoso que las luminarias con lámparas LED. Sin embargo, existen varios factores por lo que las lámparas fluorescentes presentan niveles de iluminación más bajos y no cumplen con el nivel mínimo de iluminación que establece la norma.

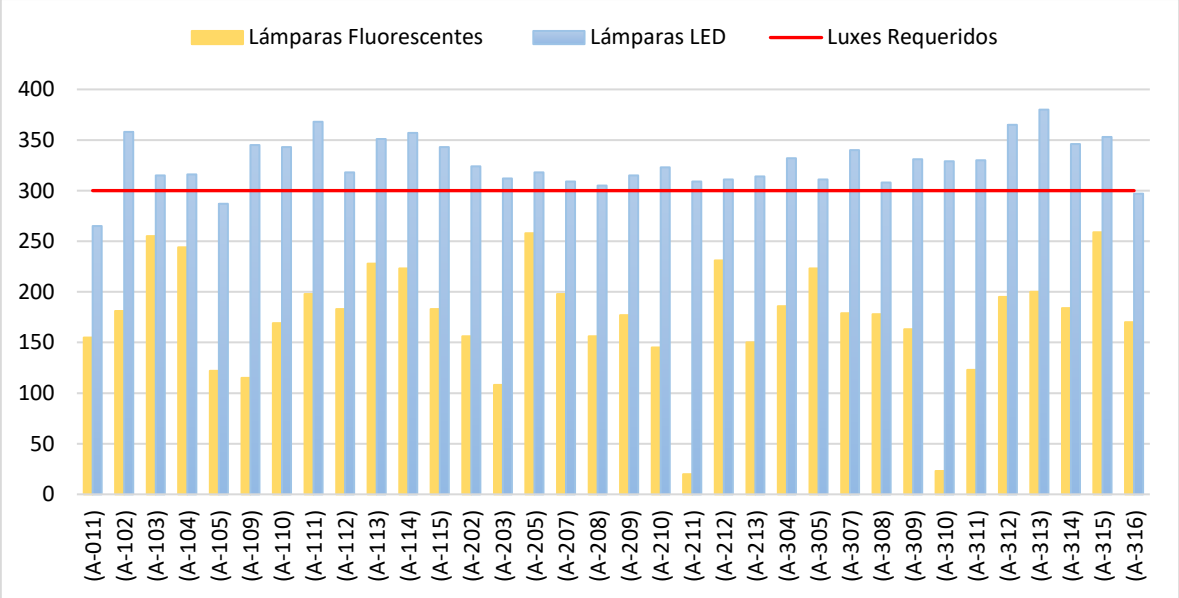
Una de las causas, y la más importante, es que todas las lámparas fluorescentes cuentan con un balastro electrónico atenuable que reduce el flujo luminoso con el propósito de disminuir el consumo, pero que por fallas en el control inteligente no es posible ajustar. De igual forma, las lámparas fuera de operación son otro de los factores, al realizar el censo se encontró que 13% del total de lámparas no funcionan. Por último, la falta de limpieza de las luminarias y lámparas fluorescentes, pues se encontraban sucias y llenas de polvo, razón que influye en los niveles de iluminación.

A continuación, se presentan los niveles de iluminación examinados en el mismo orden en el cual fueron clasificados los grupos anteriormente, el estudio se realizó en el 88% de total de las áreas, donde se pudieron llevar a cabo las mediciones con lámparas LED, a fin de examinar comparativamente los resultados.

5.2.1. Niveles de iluminación en salones

En la Gráfica 9 se presentan las mediciones de los niveles de iluminación promedio obtenidos en cada uno de los salones del edificio A con ambas tecnologías, donde es evidente observar el incremento de iluminación que adquieren las lámparas LED frente a las lámparas fluorescentes.

Retomando la información del apartado de los niveles de iluminación en aulas, se sabe que el 91% con lámparas LED obtiene valores superiores al requerido por la norma, mientras que con lámparas fluorescentes ninguno alcanza los luxes que establece la norma de 300 luxes como mínimo.



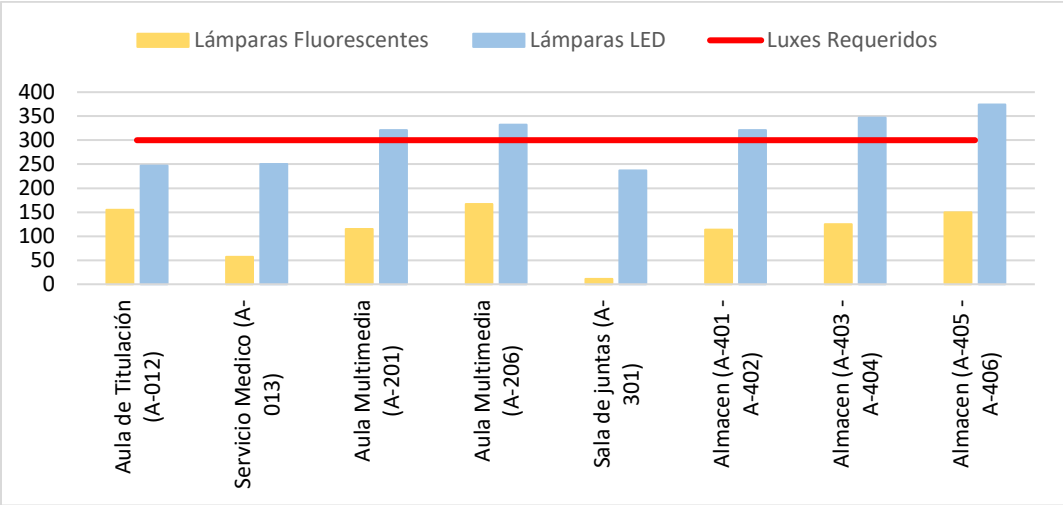
Gráfica 9. Comparación de los niveles de iluminación en salones del edificio A

El promedio de todos los salones con lámparas fluorescentes es de 175 luxes, mientras que con lámparas LED es de 325 luxes, obteniendo un aumento en los valores promedio de más del 46%.

De los salones que presentaron los niveles de iluminación promedio más bajos, se obtuvo una mejora evidente de iluminación, lo cuales alcanzaron la cantidad de iluminación requerida por la norma para su cumplimiento. El salón A-211 que tenía un promedio de iluminación de 20 luxes con lámparas fluorescentes, adquirió mejor promedio de iluminación de 309 luxes con lámparas LED; de igual manera, el salón A-310 que inicialmente tenía una media de 23 luxes con lámparas fluorescentes, alcanzo una media de 329 luxes con lámparas LED, aumentando un 93% la iluminación en ambos casos.

5.2.2. Nivel de iluminación en áreas administrativas

Los valores promedio de las mediciones en las áreas administrativas con ambas tecnologías se presentan en la Gráfica 10, donde se observa un aumento en los niveles de iluminación de las lámparas LED en comparación con las lámparas fluorescentes. El aumento de iluminación que se obtiene en estas áreas es del 58%, pasando de 125 luxes con lámparas fluorescentes a 303 luxes con lámparas LED, donde el 62% de estas áreas analizadas cumple con los 300 luxes que establece la norma como mínimo.



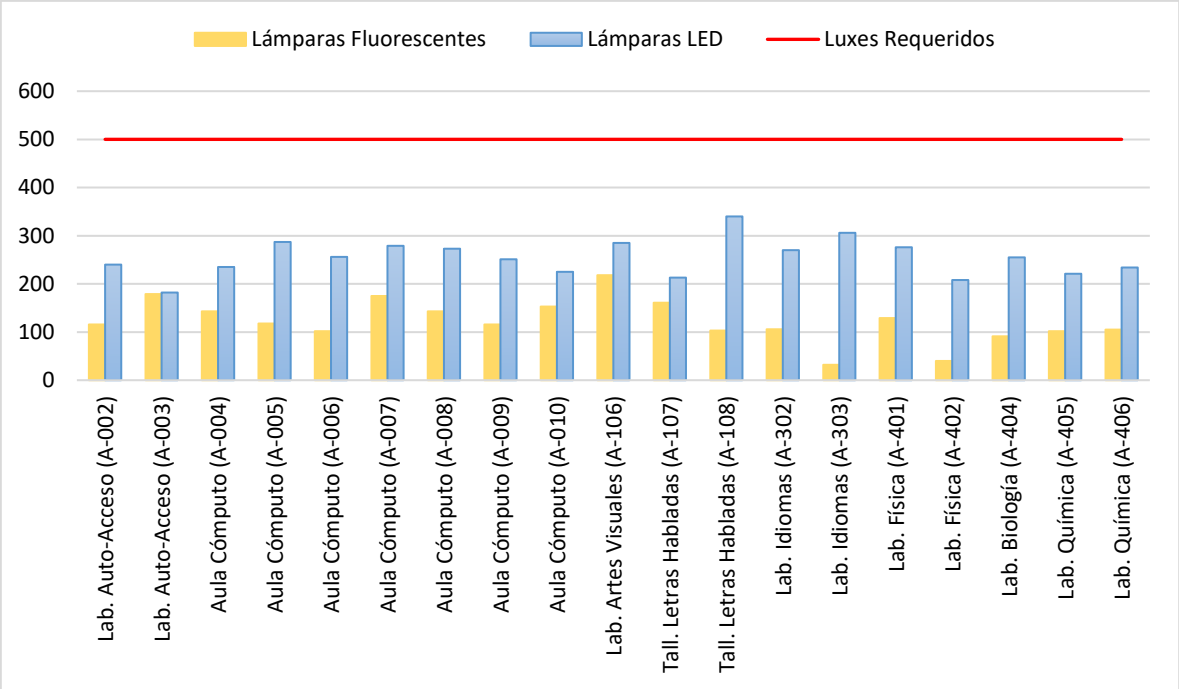
Gráfica 10. Comparación de los niveles de iluminación en áreas administrativas del edificio A

Con el análisis general de los niveles de iluminación se observó que todas las áreas presentan un aumento en su iluminación; no obstante, es preciso tener presente que, se mantienen áreas que aún no alcanzan con el mínimo de luxes requeridos por la norma.

Las áreas administrativas que no cumplen con los niveles mínimos de iluminación de la norma son: el aula de titulación, con un aumento de iluminancia del 37%; el servicio médico, con un 77% y la sala de juntas que obtuvo un aumento considerable del 95%.

5.2.3. Nivel de iluminación en laboratorios, talleres y aulas de cómputo

Por último, se realiza el análisis de los niveles de iluminación para las aulas de cómputo, laboratorios y talleres, comparando los resultados promedio de las mediciones en las luminarias con ambas tecnologías con el valor de 500 luxes requeridos por la norma para estas áreas.



Gráfica 11. Comparación de los niveles de iluminación en Laboratorios, aulas de cómputo y talleres del edificio A

En la Gráfica 11, se presentan los promedios de niveles de iluminación, donde es evidente un aumento en la cantidad de iluminación al realizar la transición de tecnología en el sistema de iluminación. Sin embargo, los niveles de iluminación siguen por debajo de los luxes requeridos.

Dado el análisis anterior, se observa de manera general que los niveles de iluminación aumentaron un 45%, pasando de 122 luxes con lámparas fluorescentes a 224 luxes con lámparas LED.

Para comprender mejor los cambios en los niveles de iluminación, a continuación, se realiza un análisis por actividad que se realiza de forma independiente.

En las aulas de cómputo el promedio obtenido, resultado de las mediciones con lámparas fluorescentes, fue de 135 luxes. Por otra parte, el promedio de los todos los niveles de iluminación con lámparas LED, es de 258 luxes, logrando un aumento en los niveles de iluminación del 47% al haber realizado la sustitución de lámparas en las luminarias.

Para el caso de los talleres de letras habladas, se obtuvo un promedio de 132 luxes con lámparas fluorescentes; mientras que con lámparas LED las mediciones alcanzaron una media de 276 luxes. Mejorando la iluminación con la sustitución de lámparas de 57%.

Finalmente, para el caso de laboratorios, el promedio de los niveles de iluminación con lámparas fluorescentes fue de 111 luxes, en cambio al realizar la media con lámparas LED es de 248 luxes, presentando un aumento en los niveles de iluminación de 55%.

5.3. Comparación de los niveles de eficiencia energética en términos de DPEA

Con el indicador de DPEA obtenido para ambas tecnologías, se hace una comparación con el valor máximo permitido por la norma de eficiencia, a fin de evaluar si dichos indicadores cumplen con la Norma Oficial Mexicana.

De forma general, se obtuvo un DPEA de 11.21 W/m^2 con lámparas fluorescentes y 6.06 W/m^2 con lámparas LED, por lo que el edificio se mantiene por debajo de los valores establecidos en la norma, cumpliendo con los niveles de eficiencia energética con ambas tecnologías.

A manera de resumen, la Tabla 17 muestra el porcentaje que está el DPEA obtenido por debajo de la norma de eficiencia para todas las áreas de estudio. Por un lado, son coloreadas de color verde las áreas que cumplen con la norma; mientras que, en el caso de los almacenes con lámparas fluorescentes, se resalta en color rojo, ya que no cumple con los niveles eficiencia energética superando el valor límite en 55.43%.

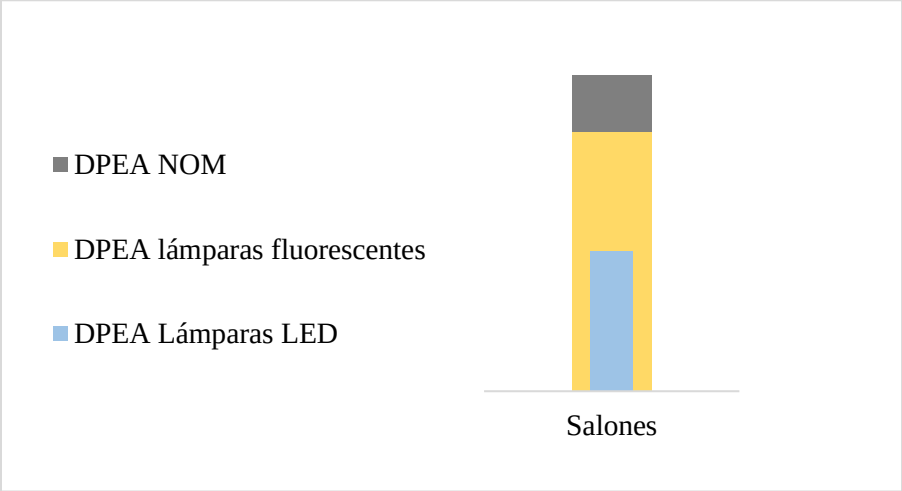
Tabla 17. Cumplimiento y Porcentaje debajo de la norma del DPEA obtenido en el edificio A

Actividad	Porcentaje debajo de la NOM-007-ENER-2014	
	Lámparas fluorescentes	Lámparas LED
Salones	14.23%	53.55%
Registro escolar	5.49%	48.9%
Aula de titulación	37.21%	66%
Servicio médico	44.65%	70.06%
Aulas multimedia	18.21 %	55.71%
Sala de juntas	13.51%	53.17%
Almacenes	- 55.43 %	15.86 %
Lab. Auto – acceso	29.1%	61.61%
Lab. Auto – acceso	36.57%	65.67%
Aulas de Cómputo	29.36%	61.79%
Lab. Artes Visuales	16.9%	55%
Tall. Letras habladas	33.08%	63.76%
Lab. Idiomas	16.9%	55%
Lab. Física	18.65%	55.87%
Lab. Química	18.65%	55.87%
Lab. Biología	18.65%	55.87%

A continuación, se presentan los niveles de la DPEA, los cuales serán analizados de la misma forma en que los grupos fueron clasificados, de acuerdo con el nivel de iluminación que requieren debido a la actividad que se realiza; empezando por las aulas, seguido de las áreas administrativas y finalmente por los laboratorios, talleres y aulas de cómputo.

5.3.1. Nivel de la DPEA en aulas

De la Tabla 17, se conoce el valor porcentual debajo del valor establecido por la norma en las aulas, donde el 14.23% les corresponde a las luminarias con lámparas fluorescentes y el 53.55% a las lámparas LED. En la Gráfica 12 se puede observar claramente que el valor de la DPEA obtenido con ambas tecnologías no rebasa el valor de la norma.

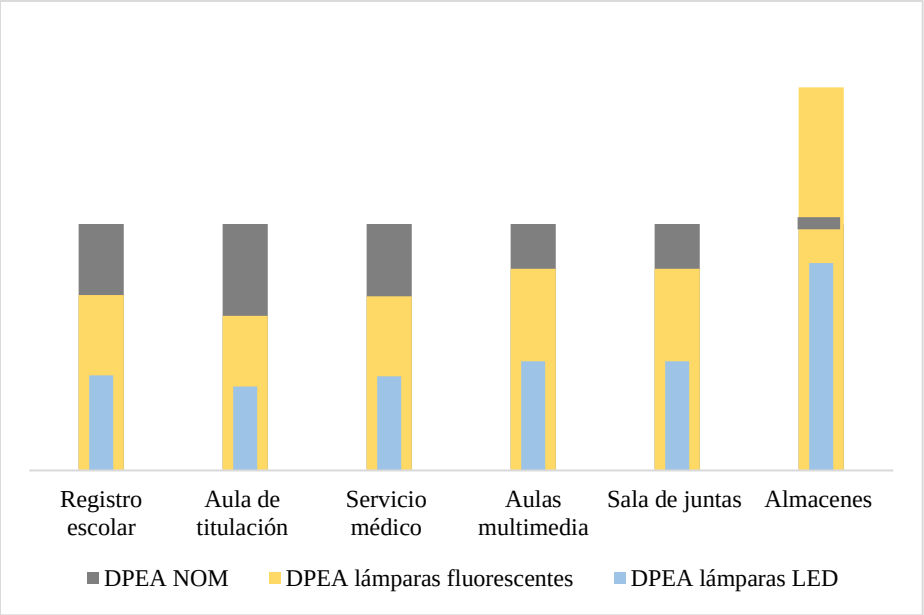


Gráfica 12. Niveles de eficiencia energética (DPEA) en salones del edificio A

Como se observa en la Gráfica 12, el nivel de eficiencia en términos de DPEA mejora evidentemente al realizar el cambio de lámparas en las luminarias del edificio A, debido a que las lámparas LED necesitan una menor potencia de entrada respecto a las lámparas fluorescentes.

5.3.2. Nivel de la DPEA en áreas administrativas

En la Gráfica 13 se muestran los valores de las DPEA obtenidos en las áreas administrativas, donde se observa que en su mayoría se encuentran por debajo del valor de la DPEA de la norma, con la excepción de los almacenes, los cuales superan evidentemente el valor de 14 W/m^2.

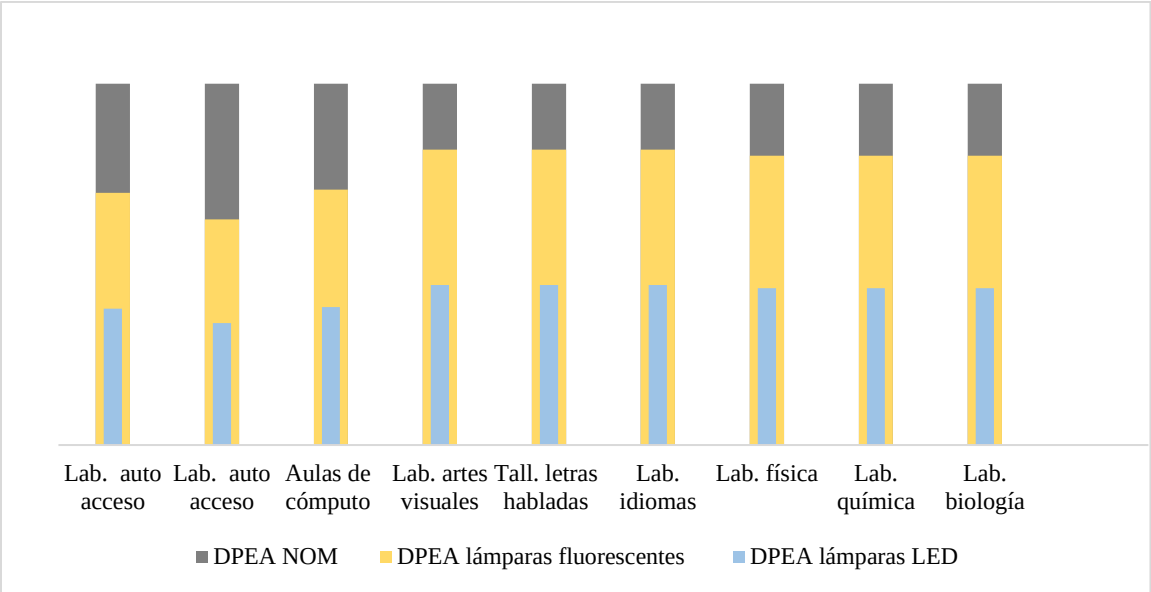


Gráfica 13. Niveles de eficiencia energética (DPEA) en áreas administrativas en el edificio A

Del análisis total del DPEA se obtuvo una mejora del 46% en los niveles de eficiencia energética al realizar la sustitución de lámparas en el sistema de iluminación, donde en promedio resulta un valor de 6.62 W/m^2 con lámparas LED, mientras que con lámparas fluorescentes de 12.22 W/m^2.

5.3.3. Nivel de la DPEA en laboratorios, talleres y aulas de cómputo

Por último, se realizó el análisis comparativo del DPEA obtenido con lámparas fluorescentes y lámparas LED frente al valor de la norma (Gráfica 14), donde se observa que ambas tecnologías cumplen con los niveles de eficiencia energética establecidos, y se evidencia una disminución de DPEA con lámparas LED respecto a las lámparas fluorescentes.



Gráfica 14. Niveles de eficiencia energética (DPEA) en laboratorios, talleres y aulas de cómputo edificio A

Del análisis general del DPEA obtenido, se observa una mejora de 46% en los niveles de eficiencia energética en todas las áreas al realizar la sustitución de lámparas en las luminarias del sistema de iluminación.

Conclusiones

El edificio A del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, está conformado por cuatro niveles y una planta baja, siendo un total de 69 áreas de estudio, con un área total construida de aproximadamente de 4,200 m^2. El sistema de iluminación es el principal consumidor de energía, el cual por la inoperatividad de su control automático inteligente presenta ineficiencias, motivo por el cual estudios han realizado diversas propuestas, buscando poner en práctica el uso eficiente de energía y medidas de ahorro.

En este sentido, se realizó un análisis normativo y energético del sistema de iluminación en el edificio A, del antes y el después de realizar la sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LED como una propuesta del PEUACM, buscando disminuir el consumo de energía al tiempo de aumentar los niveles de iluminación.

De la estimación de la energía consumida en el sistema de iluminación del edificio A, se obtuvo una disminución del 46%. La reducción se estimó en 8,378 kWh/mes, pasando de 18,268 kWh/mes con lámparas fluorescentes a 9,889 kWh/mes con lámparas LED, presentando un ahorro económico de 20,778 $/mes, lo que representa un 7% de la facturación eléctrica del Plantel.

Es preciso enfatizar que el cálculo de los ahorros se realizó con la potencia nominal de las lámparas de cada tecnología; sin embargo, es un hecho que el sistema de iluminación con lámparas fluorescentes estaba siendo atenuada en diferentes rangos por el control inteligente, reduciendo su flujo luminoso y por ende se reduce su potencia demandada, la cual no fue posible determinar.

Esta situación, junto con la falta de mantenimiento del sistema de iluminación, se hizo palpable en la evaluación realizada, en donde los resultados obtenidos en el análisis comparativo en todas las áreas de estudio del edificio A, se observa una evidente mejora en los niveles de iluminación al realizar la transición de tecnología sustituyendo lámparas fluorescentes por lámparas LED en un 50%.

Por otro lado, se aprecia que el sistema de iluminación con lámparas LED tiene un déficit de iluminación respecto a los niveles establecidos de la NOM-025-STPS-2008, donde el 52% de las áreas de estudio cumplen con dicha norma. Situación que será motivo para estudios futuros con la finalidad de realizar una propuesta de reconfiguración de las luminarias que permita mejorar el nivel de iluminación, beneficiando a la comunidad universitaria con un óptimo nivel de iluminación para realizar adecuadamente las actividades al interior de estos espacios de trabajo.

Con respecto a la comparación del DPEA obtenido con los valores establecidos por la NOM-007-ENER-2014, se verificó que la mayoría las áreas de estudio del edificio A cumplen con los niveles de eficiencia energética con ambas tecnologías, sólo los almacenes con lámparas fluorescentes estaban por encima de la norma, pero con el cambio a lámparas LED, se logró que todas las áreas cumplieran con la norma.

Basados en los estándares establecidos por la NOM-007-ENER-2014, el sistema de iluminación es un sistema eficiente, ya que los niveles de eficiencia energética en términos de DPEA, están dentro de los valores o límites establecidos por dicha norma. Sin embargo, si se consideran los niveles de iluminación, el sistema de iluminación del edificio A, no se trata de un sistema adecuado, dado que el 48% de las áreas de estudio no cuentan con los niveles de iluminación adecuados, de acuerdo con la NOM-025-STPS-2008.

Cabe mencionar que, de la experiencia práctica obtenida en la implementación del proyecto, fue posible elaborar un procedimiento detallado para la sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LED, donde se muestra la secuencia y un listado de los pasos a seguir para la transición de tecnología en luminarias. En este se incluyen fotografías e imágenes buscando ejemplificar el procedimiento de la forma más simple posible para su mejor compresión, con el propósito que el proceso de sustitución de lámparas en las luminarias se pueda replicar en los siguientes edificios del plantel.

Referencias bibliográficas

Alromar, energías de futuro (2012). *Ventajas y Desventajas de la Tecnología LED*. Obtenido de https://www.alromar-energia.es/index.php

Arbona Hidalgo. L., (2020). *Estudio de la influencia de la iluminación en la percepción de los estudiantes universitarios.* [Tesis de pregrado, Universitat Politécnica de Valencia]. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/161277/Arbona%20-%20Estudio%20de%20la%20influencia%20de%20la%20iluminaci%C3%B3n%20en%20la%20percepci%C3%B3n%20de%20los%20estudiantes%20universit....pdf?sequence=1

Cano Garzón, H. B., Chaves Osorio, J. A., y Fillipo Rugeles, V. H. (2010). *Aplicaciones de iluminación con LEDs*. Scientia Et Technica, XVI (45),13-18. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249003

Castillo, J. y Marrufo, E. (2018). Luminotecnia. Dispositivos para alumbrado. *Instalaciones eléctricas básicas.* (pp. 172 – 205). Mc Graw Hill Interamericana.

Chávez Valencia, L. E., Ruiz Jaime, C. L. y Alonso Guzmán E. M. (2021). Análisis de las condiciones de iluminación en las aulas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Guanajuato, de acuerdo con la NOM-025-STPS-2008 y NOM-007-ENER-2014. *CIENCIA NICOLAITA.* Número 82, 119-136. https://www.cic.cn.umich.mx/cn/article/view/548

CFE. (17 de junio del 2020). *Ahorro de energía.* Comisión Federal de Electricidad. Obtenido de https://www.cfe.mx/paese/ahorroenergia/Pages/default.aspx

CONANP. (26 de febrero del 2021). *Por un uso eficiente de la energía.* Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Obtenido de https://www.gob.mx/conanp/es/articulos/por-un-uso-eficiente-de-la-energia?idiom=es

Conejo Navarro, A. J., Arroyo Sánchez, J. M., Milano, F., Alguacil Conde, N., Polo Sanz, J. L., García Bertrand, R., Contreras Sanz, J., Clamagirand Sánchez, A. y López García, L. (2007). *Instalaciones Eléctricas.* Universidad de Castilla – La Mancha. https://dsc.cloud/f46b2e/474740938-Instalaciones-electricas-Conejo-pdf-r.pdf

Diario Oficial de la Federación. (2008). *Norma oficial mexicana NOM-025-STPS-2008. Condición de iluminación en centros de trabajo.* Disponible en http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/noms/Nom-025.pdf

Diario Oficial de la Federación. (2014). *Norma oficial mexicana NOM-007-ENER-2014: Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.* Disponible en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355593&fecha=07/08/2014#gsc.tab=0

Elizalde Santana, L. M., (2015). *Análisis del beneficio que se logra al realizar el remplazo de lámparas incandescentes y fluorescentes compactas (CFL), por lámparas de Diodos emisores de luz (LED)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional de la UNAM http://132.248.9.195/ptd2015/abril/0728274/0728274.pdf

Laszlo, C. (2018). *Manual de luminotecnia para interiores*. Electro SERTEC. Obtenido de http://electrosertec.com/img/cms/Manual_de_Luminotecnia_interior.PDF

PEUACM. (2 de septiembre del 2009). *Diagnóstico Energético del Sistema de Iluminación Plantel San Lorenzo Tezonco, UACM.* Programa de Energía de la UACM

Quizhpi Vargas, V. R. (2015). *Estudio de factibilidad técnico y económico para la utilización de luminarias tipo LED en la facultad técnica para el desarrollo.* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Obtenido de http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3795/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-55.pdf

Roldan Ahumada, C. Ma. (22 de noviembre 2021). *Informe Anual 2020 – 2021*. Coordinación San Lorenzo Tezonco. Obtenido de https://portalweb.uacm.edu.mx/uacm/Portals/0/ConsejosdePlanteles/San_Lorenzo_Tezonco/Noticias_Relevantes/2021/Informe%20Anual%20SLT%202020-2021.pdf

Salinas Cubrero, D. S., (2016). *Mejora del plan de eficiencia energética para el buque Ro – Ro Galicia sustituyendo su alumbrado fluorescente por tecnología LED.* [Tesis de pregrado, Universidad de Cantarina]. Obtenido de https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9131/Sa%FAl+Salinas+Cubero.pdf?sequence=1

Soltec Asesores. (2013). *¿Qué ventajas ofrece el tubo LED?* Obtenido de http://www.soltecasesores.com/wp-content/uploads/2021/02/Que_ventajas_ofrece_el_tubo_LED.pdf

Soto Mazo, E. A. y Paz Zapata, J. A. (2006). *Manual de iluminación interior (iluminación técnicas S.A.)* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente]. Disponible en: https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6072/T04075.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Anexos

Anexo 1. Ficha técnica de lámparas fluorescentes

PHILIPS
Lighting



Retail Sales T8

F32T8/TL841/ALTO UPC 30PK

Energy Savings, extra long life, extra low mercury T8 lamps offer high energy savings, superior lumen output, and long life in an environmentally responsible lamp.

Product data

General Information	
Base	G13 [Medium Bi-Pin Fluorescent]
Life 12-Hr Programstart (Hrs)	36000 h
Life 12-Hr Instant Start (Hrs)	30000 h
Life 3-Hr Program Start (Hrs)	30000 h
Life 3-Hr Instant Start (Hrs)	24000 h
Features	ALTO® (ALTO)
Footnotes Fluorescent/CFL 1	Circle E- The end rded E means this bulb meets Federal minimum efficiency standards.

Light Technical	
Color Code	TL841 [CCT of 4100K (841)]
Initial lumen (Nom)	2850 lm
Color Designation	TL841
Design Mean Lumens	2710 lm
Correlated Color Temperature (Nom)	4100 K
Color Rendering Index (Nom)	85

Operating and Electrical	
Power (Rated) (Nom)	32 W

Mechanical and Housing	
Cap-Base Information	Green Base
Nominal Length (Inch)	48

Approval and Application	
Energy Saving Product	Energy Saving
Pb gram Per Lumen Hour	25 pg/lm h
Mercury (Hg) Content (Nom)	1.7 mg

Product Data	
Order product name	F32T8/TL841/ALTO UPC 30PK
EAN/UPC - Product	046677453800
Order code	453803
Numerator - Quantity Per Pack	1
Numerator - Packs per outer box	30
Material Nr. (12NC)	927899784118
Net Weight (Piece)	0.001 kg

Warnings and Safety

- Lamp contains mercury. Manage in Accord with Disposal Laws. See: www.lamprecycle.org or 1-800-555-0050

Datasheet, 2019, February 6

data subject to change

Anexo 2. Ficha técnica de lámparas LED



Tubos LED Essential T8 Mains

CorePro LEDtube HO 1200mm 18W840 VWV T8

Essential LEDtube es una solución LED asequible que resulta adecuada para reemplazar fácilmente las lámparas fluorescentes T8. Gracias a su diseño único, el tubo LED Philips Essential T8 Mains se puede instalar directamente en luminarias que funcionan con conexión de tensión de red. El producto brinda un efecto de iluminación natural para uso en aplicaciones de iluminación general, así como ahorros de energía instantáneos. Es una solución ecológica.

Datos del producto

Funcionamiento de emergencia	
Tapa y base	G13 [Medium Bi-Pin Fluorescent]
Cumple con el reglamento RoHS de la UE	Sí
Vida útil nominal (nominal)	30000 h
Ciclo de alternado	20000 0X

Rendimiento inicial (conforme con IEC)	
Código de color	840 [CCT de 4.000 K]
Ángulo de haz (nominal)	240 °
Flujo luminoso (nominal)	2100 lm
Designación de color	Blanco frío (CW)
Temperatura de color correlacionada (nominal)	4000 K
Eficacia luminica (promedio) (nominal)	116.00 lm/W
Consistencia de color	<6
Índice de reproducción de color (Nom)	80
LLMF At End Of Nominal Lifetime (Nom)	70 %

Mecánicos y de carcasa	
Frecuencia de entrada	50 a 60 Hz

Power (Rated) (Nom)	18 W
Corriente de la lámpara (máx.)	183 mA
Corriente de la lámpara (mín.)	68 mA
Tiempo de inicio (nominal)	0.5 s
Tiempo de calentamiento para 60 % de luz (nominal)	0.5 s
Factor de potencia (nominal)	0.9
Voltaje (nominal)	100-277 V

Temperatura	
T° ambiente (máx.)	45 °C
T° ambiente (mín.)	-20 °C
T° almacenamiento (máx.)	65 °C
T° almacenamiento (mín.)	-40 °C
T° estuche máxima (nominal)	55 °C

Controles y regulación	
Con regulación de intensidad	No

Tubos LED Essential T8 Mains

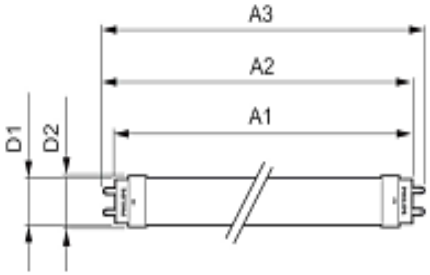
Datos técnicos de la luz	
Longitud del producto	1200 mm
Forma del foco	Tubo, terminal simple

Aprobación y aplicación	
Marcas de aprobación	Conformidad con RoHS Certificado UL
	Certificado KEMA Keur
Consumo de energía kWh/1000 h	- kWh

Datos de producto	
Código del producto completo	8718699994230 0

Nombre del producto del pedido	CorePro LEDtube HO 1200mm
	18W 840 VWV T8
EAN/UPC producto	8718699599423
Código del pedido	929009147701
Numerator - Quantity Per Pack	1
Numerator - Packs per outer box	10
N.° de material (12NC)	929009147701
Net Weight (Piece)	0.193 kg

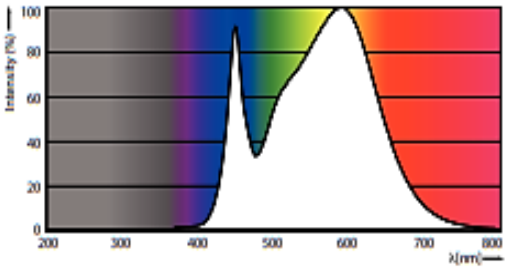
Plano de dimensiones



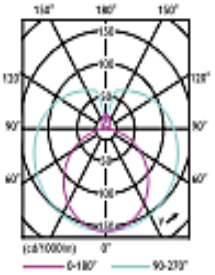
CorePro LEDtube HO 1200mm 18W 840 VWV T8

Product	D1	D2	A1	A2	A3
CorePro LEDtube HO 1200mm 18W 840 VWV T8	25.7 mm	28 mm	1198 mm	1205 mm	1212 mm

Datos fotométricos



LEDtube COR 8W G13 800lm 840



LEDtube COR 18W G13 2100lm

Anexo 3. Catálogo de balastros

3892BD 1 11.09.17

Descripción general de Hi-lume 3D

Los balastros fluorescentes electrónicos arquitectónicos Hi-lume 3D están diseñados para satisfacer las necesidades de iluminación más exigentes. Al proporcionar un rendimiento insuperable en la industria con un rango completo del 100% a menos del 1% de atenuación fluorescente, los balastros Hi-lume 3D permiten conseguir un ambiente visual ideal para cualquier aplicación.

Características

- Atenuación continua, sin parpadeos del 100% al 0,7% para lámparas T8, al 1% para lámparas T5 y T5HO y al 5% para lámparas con tubos gemelos T5.
- 100% compatible con todos los controles fluorescentes de 3 cables Lutron y los controles digitales EcoSystem para un rendimiento de atenuación confiable entre luminarias.
- Compatible con la unidad Energi Savr Node con EcoSystem, con la unidad de control GRAFIK Eye QS, con el módulo atenuador PowPak con EcoSystem y con el software Quantum, lo que permite la integración con una solución de control de iluminación EcoSystem existente o futura.
- El diseño de encendido rápido programado precalienta los cátodos de la lámpara antes de aplicar el voltaje de arco completo para asegurar la máxima vida útil de la lámpara durante la atenuación y los ciclos.
- Las lámparas se encienden en cualquier nivel de atenuación sin alcanzar toda su intensidad.
- La distorsión armónica baja en todo el rango de atenuación mantiene la calidad de la potencia.
- La frecuencia de operación asegura que el balastro no interfiera con los dispositivos infrarrojos que funcionan entre 38 kHz y 42 kHz.
- El sistema de circuitos que limita la sobrecorriente evita que se dispare el cortacircuitos, elimina el arco del interruptor y la falla del relé.
- Los balastros mantienen una salida de luz constante para diferentes largos de lámparas, lo que asegura la uniformidad entre luminarias.
- Funcionamiento ultrasilencioso.
- Los balastros tienen protección contra el cableado incorrecto de cualquier energía de entrada al conductor de control, o de un conductor de lámpara a otro y/o a tierra.
- Rendimiento totalmente probado y quemado en fábrica.



Hi-lume 3D, tipo de caja C
30 mm (1,18 pulg) ancho × 25 mm (1 pulg) alto × 457 mm (18 pulg) largo



Hi-lume 3D, tipo de caja G
60 m (2,38 pulg) ancho × 25 mm (1 pulg) alto × 241 mm (9,5 pulg) largo

- La memoria no volátil restaura las configuraciones de todos los balastros después de una falla de alimentación.
- Se encuentran disponibles modelos que cumplen con la Ley de compras nacionales (Buy American Act, BAA). Consulte la Lista de modelos para conocer los detalles sobre la disponibilidad.
- Cumple con la directiva de Restricción de Sustancias Peligrosas, (Restriction of Hazardous Substances, RoHS).
- Se encuentran disponibles modelos con la certificación NOM. Consulte la Lista de modelos para conocer los detalles sobre la disponibilidad.
- Se encuentran disponibles factores de balastros personalizados para productos aprobados según normas UL® o CSA. Consulte las herramientas de diseño y especificaciones en www.lutron.com/ballasttool

Nombre del trabajo:	Números de referencia:	
Número del trabajo:		

Especificaciones

Aprobación de las autoridades

- Aprobado según normas UL® (evaluado conforme a los requisitos de UL935).
- Con certificación de CSA (evaluado según los requisitos de C22.2 n.º 74) (números de referencia específicos solamente).
- Protegido térmicamente Clase P.
- Cumple con el Estándar para balastros de alta frecuencia ANSI C82.11.
- Cumple con las exigencias de la FCC Parte 18 para no consumidores con respecto a emisiones EMI/RFI.
- Cumple con los estándares de protección contra picos de voltaje ANSI C62.41 Categoría A hasta 4 kV, inclusive.
- Las plantas de fabricación emplean prácticas de reducción de descarga electrostática (ESD) que cumplen con los requisitos de ANSI/ESD S20.20.
- Lutron Quality Systems, registrado en ISO 9001.2008.
- El Título 20 del estado de California afecta algunos modelos. Es posible que los clientes en California deban ordenar modelos alternativos para cumplir los reglamentos. Consulte detalles en la sección para clientes en California en la página 4 de este documento. También consulte más información acerca del **Reglamento del Título 20 de CEC**, Nota de uso #601 de Lutron en www.lutron.com/title20ballasts.
- Este dispositivo satisface la Parte 18 (límites de los no consumidores) de las reglas de la FCC. La operación está sujeta a las siguientes condiciones:

  (1) Este dispositivo podría ocasionar interferencias a los equipos de radio.

  (2) Este dispositivo no deberá ser instalado cerca de equipos de comunicaciones de seguridad marítima u otros equipos críticos de navegación o comunicación que operen entre 0,45 y 30 MHz.

  Las modificaciones no aprobadas expresamente por Lutron Electronics Co., Inc. podrían invalidar la autorización del usuario para utilizar este equipo.

  Este RFLD de no consumidor satisface la norma canadiense ICES-005.

Condiciones ambientales

- Temperatura mínima de encendido de la lámpara: 10 °C (50 °F).
- Humedad relativa: inferior a 90% sin condensación.
- Especificación acústica: Clase A.
- Temperatura máxima de la caja del balastro: 75 °C.

Montaje y cableado del balastro

- El balastro se conecta a tierra a través de un tornillo de montaje en la luminaria.
- El balastro se monta con dos tornillos (o una pieza metálica y un tornillo) en una luminaria fluorescente.
- Utilice un cable de cobre sólido de 0,75 mm^2 a 1,5 mm^2 (18 AWG a 16 AWG) para cada terminal del cableado de alimentación y de la lámpara.

Asentamiento de la lámpara

- Consulte al fabricante de lámparas para obtener información sobre los requerimientos de asentamiento de lámparas antes de la atenuación.

Garantía

- Garantía limitada por 5 años con la puesta en servicio en campo de Lutron® (garantía estándar por 3 años) a partir de la fecha de compra. Para obtener información adicional sobre la garantía, visite www.lutron.com/ballastwarranty

Nombre del trabajo:	Números de referencia:	
Número del trabajo:		

Especificaciones *(continuación)*

Rendimiento

- Rango de atenuación: del 100% al 0,7% de salida de luz relativa medida (RLO) para lámparas T8, del 100% al 1% de RLO medida para lámparas T5 y T5HO y del 100% al 5% de RLO medida para lámparas con tubos gemelos T5.
- Encendido de la lámpara: encendido rápido programado.
- Factor de pico de la corriente de la lámpara: inferior a 1,7.
- Parpadeo de la lámpara: no visible.
- Variación de salida de la luz: salida de luz constante de ±2% para variaciones de voltaje de línea de ±10%.
- Vida útil de la lámpara: la vida útil promedio de la lámpara cumple o excede los valores nominales de los fabricantes de lámparas.
- Factor de potencia: superior a 0,95.
- Distorsión armónica total (THD) típica menor de 10%*.
- Sobrecorriente máxima: 7 A por balastro con 120 V~, 3 A por balastro con 277 V~
- Voltaje operativo: entrada universal 120, 220/240, 277 V~ a 50/60 Hz
- Frecuencia de operación: superior a 42 KHz.
- Factor de balastro (BF): 1,0/1,17 para lámparas T8 y 1,0 para lámparas T5, T5HO, y lámparas con tubos gemelos T5.

Rango de atenuación para lámparas T5 y T5HO:

BF	Rango de atenuación ([BF] máx./mín.)	Proporción de atenuación
1,0	1,00 / 0,01	100:1

Rango de atenuación para lámparas T8:

BF	Rango de atenuación ([BF] máx./mín.)	Proporción de atenuación
1,17	1,17 / 0,0085	138:1
1,0	1,00 / 0,0085	118:1

Rango de atenuación para lámparas con tubos gemelos T5:

BF	Rango de atenuación ([BF] máx./mín.)	Proporción de atenuación
1,0	1,00 / 0,05	100:5

* Los modelos H3DT817CU110, H3DT514CU110, y H3DT521CU110 tienen una THD inferior a 15%.

Nombre del trabajo:	Números de referencia:	
Número del trabajo:		

3692BD 4 11.09.17

Balastros Hi-lume® 3D para lámparas lineales y curvadas en U modelo T8

Para una buena atenuación, todas las lámparas deben cumplir con los estándares aceptados: 17, 25, 32, y 40 W (NEMA LL9-2009).

No utilizar con lámparas de potencia reducida.

Tipo de lámpara	Vatios de la lámpara (largo)	Lámparas por balastro	Tamaño de la caja	Número de referencia de Hi-lume® 3D	Voltaje de entrada (V~)	Corriente del balastro (A)	Factor de balastro (BF)	Energía de entrada (W)	Lúmenes del sistema[3] (lm)	Eficacia del sistema[3] (lm/W)	Factor de eficacia del balastro (BEF)	Eficacia relativa del sistema (RSE)
T8 y curvado en U 	40 W (1 524 mm (60 pulg))	1	C	H3D T840 C U 1 10	120 240 277	0,38 0,18 0,16	1,00 1,00 1,00	43,8 43,0 42,8	3 800 3 800 3 800	87 88 89	2,28 2,33 2,34	0,91 0,93 0,94
		1	C	H3D T840 C U 1 17	120 240 277	0,42 0,21 0,18	1,17 1,17 1,17	50,6 49,4 49,6	4 446 4 446 4 446	88 90 90	2,31 2,37 2,36	0,92 0,95 0,92
		2	C	H3D T840 C U 2 10	120 240 277	0,76 0,37 0,32	1,00 1,00 1,00	90,9 88,4 88,9	7 600 7 600 7 600	84 86 86	1,10 1,13 1,13	0,90 0,91 0,94
		2	C	H3D T840 C U 2 17	120 240 277	0,85 0,41 0,36	1,17 1,17 1,17	100,3 97,2 98,2	8 892 8 892 8 892	89 92 91	1,17 1,20 1,19	0,93 0,96 0,95
	32 W (1 219 mm (48 pulg))	1	C	H3D T832 C U 1 10[1,2]	120 240 277	0,32 0,16 0,14	1,00 1,00 1,00	38,5 37,7 37,6	3 000 3 000 3 000	78 80 80	2,60 2,65 2,66	0,83 0,85 0,85
			G	H3D T832 G U 1 10[1,2,4]	120 240 277	0,30 0,15 0,13	1,00 1,00 1,00	34,8 35,0 35,1	3 000 3 000 3 000	86 86 85	2,87 2,85 2,85	0,92 0,91 0,91
		1	C	H3D T832 C U 1 17[1,2]	120 240 277	0,34 0,17 0,15	1,17 1,17 1,17	40,8 40,8 41,6	3 510 3 510 3 510	86 86 84	2,87 2,87 2,82	0,92 0,92 0,90
			G	H3D T832 G U 1 17[1,4]	120 240 277	0,34 0,17 0,15	1,17 1,17 1,17	39,7 40,0 40,1	3 510 3 510 3 510	88 88 88	2,95 2,92 2,92	0,94 0,94 0,93
		2	C	H3D T832 C U 2 10[1,2]	120 240 277	0,57 0,28 0,24	1,00 1,00 1,00	68,4 67,2 66,5	6 000 6 000 6 000	88 89 90	1,46 1,49 1,50	0,94 0,95 0,96
			G	H3D T832 G U 2 10[1,2,4]	120 240 277	0,58 0,28 0,24	1,00 1,00 1,00	68,9 66,3 66,5	6 000 6 000 6 000	91 90 90	1,52 1,51 1,50	0,97 0,97 0,96
		2	C	H3D T832 C U 2 17[1,2]	120 240 277	0,65 0,32 0,28	1,17 1,17 1,17	78,0 76,8 77,6	7 020 7 020 7 020	90 91 91	1,50 1,52 1,51	0,96 0,98 0,97
			G	H3D T832 G U 2 17[1,4]	120 240 277	0,67 0,31 0,28	1,17 1,17 1,17	75,4 76,5 76,9	7 020 7 020 7 020	93 92 91	1,55 1,53 1,52	0,99 0,98 0,97
		3	G	H3D T832 G U 3 10[1,2,4]	120 240 277	0,83 0,40 0,37	1,00 1,00 1,00	99,6 96,0 102,5	9 000 9 000 9 000	90 94 88	1,00 1,04 0,98	0,96 1,00 0,94
		3	G	H3D T832 G U 3 17[1,4]	120 240 277	0,95 0,47 0,41	1,17 1,17 1,17	114,0 112,8 113,6	10 530 10 530 10 530	92 93 93	1,03 1,04 1,03	0,99 1,00 0,99

(Continúa en la página siguiente.)

Notas

1 Se encuentran disponibles modelos que cumplen con la Ley de compras nacionales (Buy American Act, BAA). Agregue una "U" al prefijo del número de modelo al realizar el pedido (por ejemplo: **U**H3D T832 C U 1 10).

2 Se encuentran disponibles modelos con la certificación NOM. Agregue una "N" al sufijo del número de modelo al realizar el pedido (por ejemplo: H3D T832 C U 1 10**N**).

3 Los números reales pueden variar de acuerdo con el modelo de la lámpara. Consulte al fabricante de la lámpara para obtener los datos específicos.

4 No para venta en California - Consulte información acerca de modelos alternativos en la Nota de uso #601 de Lutron, **Reglamento del Título 20 de CEC**.

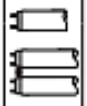
Nombre del trabajo:	Números de referencia:	
Número del trabajo:		

369280 5 11.09.17

Balastos Hi-lume 1% para lámparas T8 lineales y curvadas en U (solo clientes en California)

Para una buena atenuación, todas las lámparas deben cumplir con los estándares aceptados: 17, 25, 32, y 40 W (NEMA LL9-2009).

No utilizar con lámparas de potencia reducida.

Tipo de lámpara	Vatios de la lámpara (largo)	Lámparas por balastro	Tamaño de la caja	Número de referencia de Hi-lume® 3D	Voltaje de entrada (V~)	Corriente del balastro (A)	Factor de balastro (BF)	Energía de entrada (W)	Lúmenes del sistema[3] (lm)	Eficacia del sistema[3] (lm/W)	Factor de eficacia del balastro (BEF)	Eficacia relativa del sistema (RSE)
T8 y curvado en U 	32 W (1 219 mm (48 pulg))	3	G	H3 T832 G U 3 10[2]	120 240 277	0.83 0.40 0.37	1.00 1.00 1.00	99.6 96.0 102.5	9000 9000 9000	90 94 88	1.00 1.04 0.98	0.96 1.00 0.94
		3	G	H3 T832 G U 3 17[2]	120 240 277	0.95 0.47 0.41	1.17 1.17 1.17	114.0 112.8 113.6	10,530 10,530 10,530	92 93 93	1.03 1.04 1.03	0.99 1.00 0.99
		3	G	H3 T832 G U 3 C85[2]	120 240 277	0.75 0.37 0.32	0.85 0.85 0.85	90.0 88.8 88.6	7650 7650 7650	85 86 86	0.94 0.96 0.96	0.91 0.92 0.92

Notas

[1] Los números reales pueden variar de acuerdo con el modelo de la lámpara. Consulte al fabricante de la lámpara para obtener los datos específicos.

[2] Los modelos para California solo están disponibles con un control de 3 cables. En un control EcoSystem use con un C5-BMF-2A.

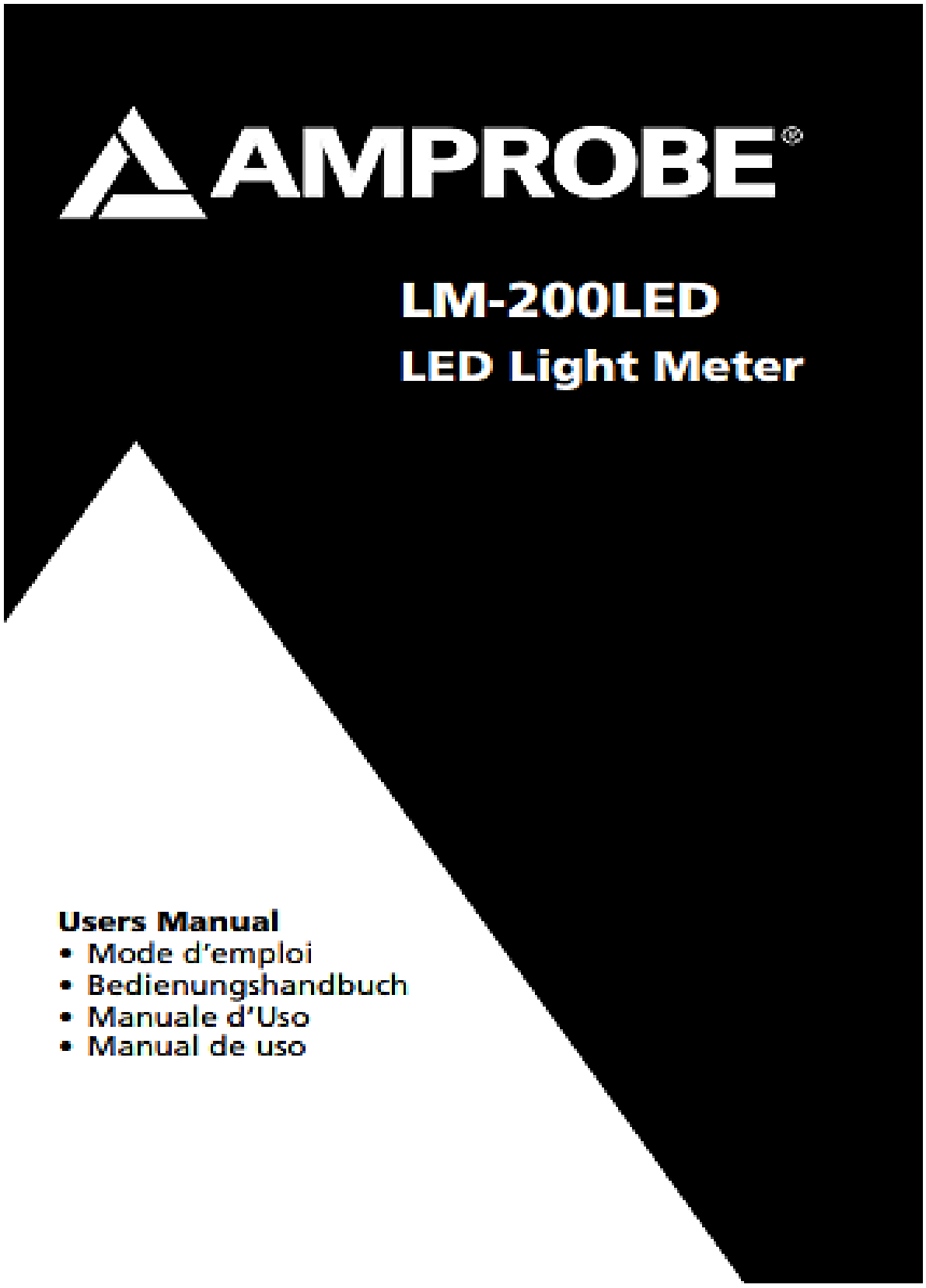
Anexo 4. Niveles de iluminación NOM-025-STPS-2008

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamiento.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuarto de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo den banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300

Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente fácil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: • De bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados;	2,000

	• Exactas y muy prolongadas, y • Muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño.	

Anexo 5. Manual luxómetro AMPROBE





LM-200LED

1. Light sensor
2. Display(LCD)
3. Lux / foot candles
4. MAX HOLD
5. Power Button: ON/OFF
6. Manual range selection
7. DATA HOLD button
8. Light sensor Zero Adjustment

CONTENTS

SYMBOLS 1
UNPACKING AND INSPECTION 1
INTRODUCTION 1
OPERATION 1
Lx / fc 2
Data Hold 2
MAN Ranging 2
MAX 2
Auto-Power Off 2
Zero 2
SPECIFICATIONS 2
MAINTENANCE AND REPAIR 3
Battery Replacement 4

SYMBOLS

⚠	Caution! Refer to the explanation in this Manual	CE	Complies with EU directives
C	Conforms to relevant Australian standards.		Do not dispose of this product as unsorted municipal waste.

⚠ Warning and Precautions

- Do not operate the meter in explosive gas (material), combustible gas (material) steam or filled with dust.
- The light sensor is calibrated to CIE standard incandescent lamp at 2856 °K and may give different readings for spectrums from other lamp types.

UNPACKING AND INSPECTION

Your shipping carton should include:

1 LM-200LED LED light meter

1 9 volt battery

1 Users Manual

If any of the items are damaged or missing, return the complete package to the place of purchase for an exchange.

INTRODUCTION

The instrument measure the visible light from LED lamp or lighting source.

One LUX (Lumen) is the illumination from a one candela lamp perpendicular to a surface one meter squared at a distance of one meter. One foot-candle (Fc) is the illumination from a one candela lamp perpendicular to a surface one foot squared at a distance of one foot.

OPERATION

1. Press the ⏻ button to turn power on or off
2. Remove sensor cap and place the sensor perpendicular to the light.
3. Select Illuminance scale and range for reading.
4. When done testing, replace the sensor cover to protect the filter and sensor.

Lx / fc

Illuminance scales. 1 foot-candle = 10.764 Lux and 1 lux = 0.09290 foot-candles.

Data Hold

Freezes the reading present on the LCD at the moment the button is pressed. Press HOLD again to disable Data Hold.

MAN Ranging

Press the MANual ranging button for useable reading.

Zero

The light sensor will change the null point over time. To reset the null point, cover the sensor, press the ZERO button. The display will show "ADJ". When the null reset is done, the display will read '00.0'.

SPECIFICATIONS

General

Display:	2000 count LCD
Sensor:	Silicon photodiode and filter.
Environment:	Indoor operation
Altitude:	Up to 2000m.
Temperature / Humidity	
Operating:	-10 °C to 40 °C (14°F to 104°F), 0 to 80 %RH.
Storage:	-10 °C to 50 °C (14°F to 122°F), 0 to 70 %RH.
Power Supply:	9V NEDA 1604, IEC 6F22, JIS 006P battery
Battery life:	200 hours
Auto Power Off:	approx 6 min
Dimension (Base):	130 x 63 x 38 mm (5.1 x 2.5 x 1.5")
Dimension (Sensor):	80 x 55 x 29 mm (3.2 x 2.2 x 1.1")
Weight:	220 g (.48 lb.) include battery

CE-EMC: EN61326-1 This product complies with requirements of the following European Community Directives: 89/336/EEC (Electromagnetic Compatibility) and 73/23/EEC (Low Voltage) as amended by 93/68/EEC (CE Marking). However, electrical noise or intense electromagnetic fields in the vicinity of the equipment may disturb the measurement circuit. Measuring instruments will also respond to unwanted signals that may be present within the measurement circuit. Users should exercise care and take appropriate precautions to avoid misleading results when making measurements in the presence of electronic interference.

Illumination:

Measuring Range:	20, 200, 2000, 20000, 200000 Lux
	20, 200, 2000, 20000 Foot candles
Accuracy:	± 3 % (Calibrated to standard incandescent lamp at 2856 °K)
	8% other visible light sources
	Angle deviation from cosine Characteristics
	30 ° ± 2 %
	60 ° ± 6 %
	80 ° ± 25 %

Cosine Angular corrected per JIS C 1609:1993 and CNS 5119 general A class specifications.

MAINTENANCE AND REPAIR

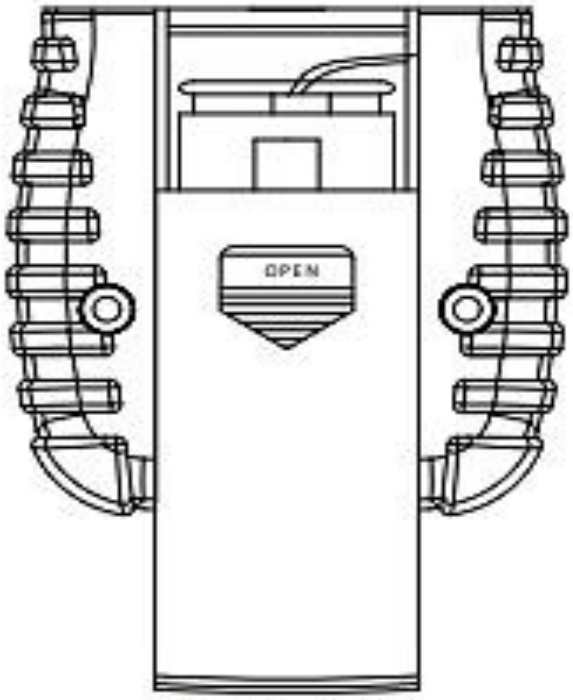
If there appears to be a malfunction during the operation of the meter, the following steps should be performed in order to isolate the cause of the problem.

1. Check the battery. Replace the battery immediately when the symbol "⊏⊐" appears on the LCD.
2. Review the operating instructions for possible mistakes in operating procedure.

Except for the replacement of the battery, repair of the meter should be performed only by a Factory Authorized Service Center or by other qualified instrument service personnel. The front panel and case can be cleaned with a mild solution of detergent and water. Apply sparingly with a soft cloth and allow to dry completely before using. Do not use aromatic hydrocarbons or chlorinated solvents for cleaning.

Battery Replacement

1. Turn off the meter and slide out the battery cover. Replace the battery with a NEDA type 1604 or equivalent 9V alkaline battery. Replace the cover.
2. Remove battery when the instrument is not used for extended period.



Battery Replacement

Anexo 6. Formato de censo

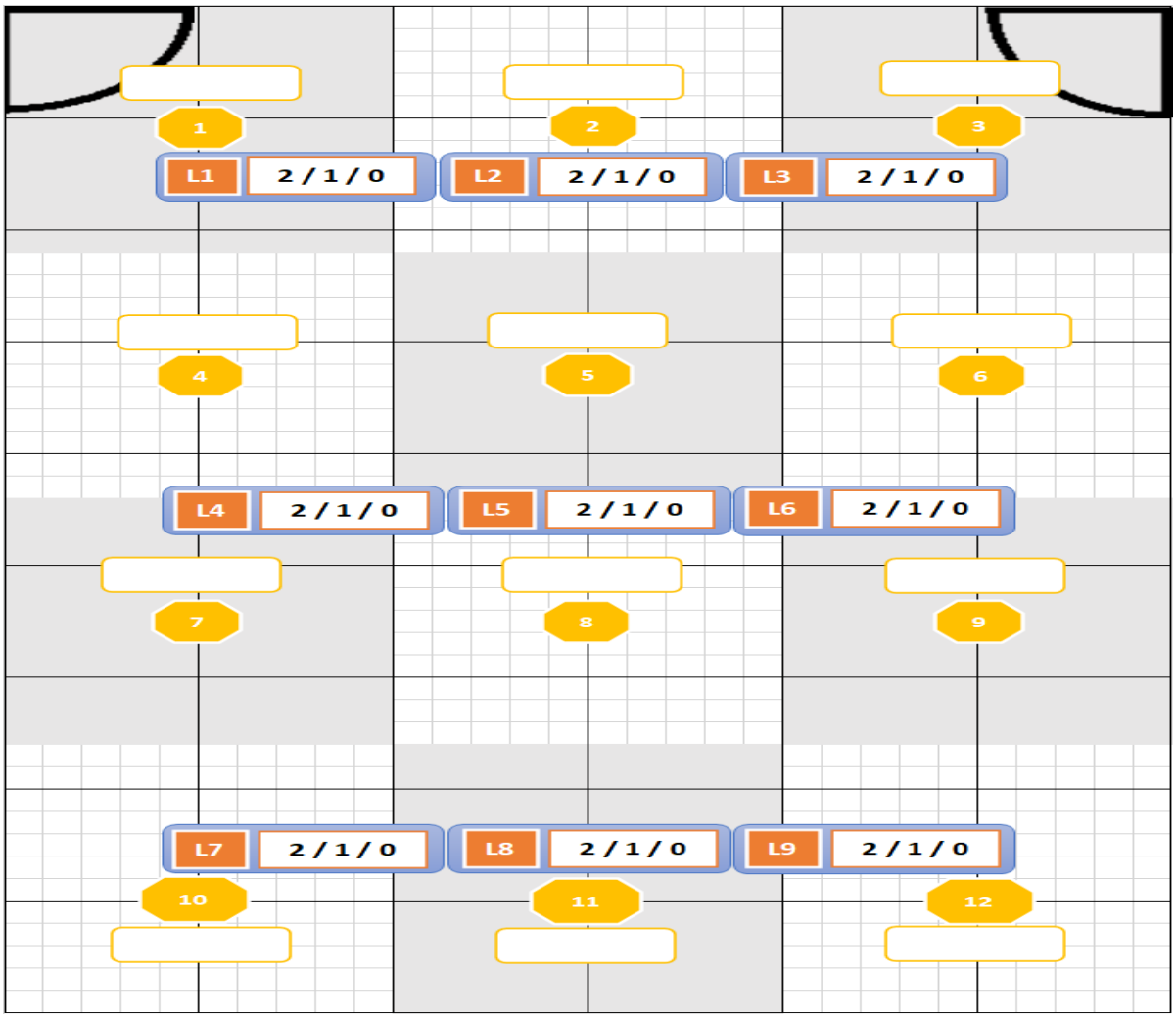
PEUACM-SS2021

FORMATO
CENSO DE LUMINARIAS Y NIVELES DE ILUMINACIÓN

Instalación: Edificio A, SLT Nivel: Salón:
Fecha: Día: Hora (noche):

Descripción del área: Mediciones nocturnas del nivel de iluminación
Espacio utilizado como salón de clases
Responsables del censo:
Dimensiones
Largo (m): Ancho (m): Altura (m):

Plano de distribución de luminarias



Anexo 7. Tabla de DPEA, NOM-007-ENER-2014

Tipo de edificio	DPEA (W/m^2)
Oficinas	
Oficinas	12
Escuelas y demás centros docentes	
Escuelas o instituciones educativas	14
Bibliotecas	15
Establecimientos comerciales	
Tiendas de autoservicio, departamentales y de especialidades	15
Hospitales	
Hospitales, sanatorios y clínicas	14
Hoteles	
Hoteles	12
Moteles	14
Restaurantes	
Bares	14
Cafeterías y venta de comida rápida	15
Restaurantes	14
Bodegas	
Bodegas o áreas de almacenamiento	10
Recreación y cultura	
Salas de cine	12
Teatros	15
Centros de convencionales	15
Gimnasios y centros deportivos	14
Museos	14
Templos	14
Talleres de servicio	
Talleres de servicio para automóviles	11
Talleres	15

Carga y pasaje	
Centrales y terminales de transporte de carga	10
Centrales y terminales de transporte de pasajeros, aéreas y terrestres	13