



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

**Optimización del diseño de iluminación en
instalaciones educativas. Caso de estudio:
plantel San Lorenzo Tezonco – UACM**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA
(ORIENTACIÓN EN EFICIENCIA)

P R E S E N T A :

César Romero Rodríguez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Marcos Ángel González Olvera

CODIRECTOR DE TESIS:

Dr. Carlos Chávez Baeza



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. Manuel Antonio Corona Sánchez, PEUACM

Secretario: Dr. Marcos Ángel González Olvera, UACM

Vocal: Dr. Carlos Chávez Baeza, PEUACM

1^{er}. Suplente: Dra. Ma. Claudia Roldán Ahumada, PEUACM

2do Suplente: Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas

Lugar donde se realizó el posgrado:

Plantel Del Valle, UACM.

Director de tesis:

Dr. Marcos Ángel González Olvera
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) y al Programa de Energía (PEUACM), por brindarme el espacio y la formación académica necesaria para cursar la Maestría en Ingeniería Energética.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT), por el apoyo económico brindado a través de su programa de becas de posgrado en la Maestría (Número de CVU: 1305530) a quien expreso mi más sincero agradecimiento.

Agradezco al Dr. Marcos Ángel González Olvera, director de esta tesis, por su invaluable guía, paciencia y compromiso, elementos fundamentales para llevar a cabo este proyecto.

Expreso mi gratitud al Dr. Carlos Chávez Baeza, codirector de este trabajo, cuya experiencia técnica y valiosas contribuciones enriquecieron significativamente cada etapa de la investigación.

De manera especial, agradezco a mis lectores: Dra. Ma. Claudia Roldan Ahumada, el Dr. Fernando Gabriel Arrollo Cabañas y el Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez, por su tiempo, disposición y por las valiosas sugerencias que permitieron la culminación de esta tesis de forma exitosa.

Por último, al sistema de becas para estudios de posgrado por parte de la Universidad, por otorgarme la beca al inicio de la Maestría.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I. Marco contextual	3
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Justificación	5
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. Eficacia luminosa	9
2.1.3. Intensidad luminosa.....	9
2.1.4. Iluminancia.....	10
2.1.5. Luminancia.....	11
2.1.6. Temperatura de color	12
2.2. Elementos de análisis para un diseño de iluminación.....	13
2.2.1. Índice de rendimiento cromático CRI	13
2.2.2. Coeficiente de reflexión	13
2.2.3. Índice de deslumbramiento unificado UGR.....	14
2.2.4. Factor de mantenimiento	15
2.2.5. Factor de utilización	16
2.2.6. Factor de uniformidad	16
2.2.7. Vida útil de luminarias y lámparas.....	18

2.3. Componentes esenciales para el diseño de un sistema de iluminación	19
2.3.1. Luminarias.....	19
2.3.2. Tipos de tecnología en lámparas	21
2.3.3. Lámparas Fluorescentes	22
2.3.4. Lámparas LED	23
2.4. Normativas.....	25
2.4.1. NOM-025-STPS-2008	25
2.4.2. UNE 12464-1	26
Capítulo III. Metodología.....	27
3.1. Áreas de estudio de los Edificios de la UACM Plantel SLT	27
3.2. Censo de la energía consumida por el sistema de iluminación de la UACM.....	34
3.3. Niveles de iluminación requeridos para los edificios de la UACM	38
3.3.1. Método para evaluar los niveles de iluminación.....	41
Capítulo IV. Desarrollo	48
4.1. Nivel de iluminación.....	48
4.1.1. Nivel de iluminación en aulas	51
4.1.2. Nivel de iluminación en áreas administrativas.....	52
4.1.3. Nivel de iluminación en cubículos	53
4.1.4. Nivel de iluminación en laboratorios, aulas de cómputo y talleres.....	55
4.2. Verificación del software.....	55
4.3. Modificación de la configuración de luminarias en el diseño de iluminación	60
4.3.1. Método de cálculo para iluminación en interiores	62
Capítulo V. Análisis de resultados	68
5.1. Tecnología propuesta en el diseño de iluminación	68
5.1.1. PANLED3-36-ES-NW	70

5.2. Diseño de iluminación simulado en DIAULux evo.....	71
5.2.1. Simulación en salones	72
5.2.2. Simulación en cubículos.....	78
5.2.3. Simulación en laboratorios, biblioteca, talleres y aulas de cómputo	80
5.2.4. Simulación en áreas administrativas	88
5.3. Ahorro de energía en el sistema de iluminación.....	91
5.4. Costo de inversión	94
5.5. Tiempo de recuperación de la inversión	95
Conclusiones.....	97
Referencias Bibliográficas.....	99
Anexos.....	103
Anexo 1. Ficha técnica de lámparas fluorescentes y Ficha técnica de lámpara LED.....	103
Anexo 2. Catálogo de balastos	106
Anexo 3. Niveles de iluminación NOM-025-STPS-2008	111
Anexo 4. PANLED	114
Anexo 5. Archivo generado por DIALux evo de salones.....	115
Anexo 6. Archivo generado por DIALux evo de cubículos	117
Anexo 7. Archivo generado por DIALux evo de laboratorios, talleres, aulas de cómputo y biblioteca.....	119
Anexo 8. Archivo generado por DIALux evo de áreas administrativas	131

Índice de Figuras

Figura 1. Flujo luminoso	8
Figura 2. Intensidad luminosa	10

Figura 3. Iluminancia.....	11
Figura 4. Luminancia.....	12
Figura 5. Deslumbramiento que pueden producirse.....	15
Figura 6. Luminarias. Clasificación por la emisión de flujo	20
Figura 7. Luminaria comercial para lámparas fluorescentes	21
Figura 8. Tipos de lámparas	22
Figura 9. Elementos de una lámpara fluorescente	22
Figura 10. Elementos auxiliares de una lámpara fluorescente	23
Figura 11. Estructura de un tubo LED.....	24
Figura 12. Edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM.....	28
Figura 13. Modelos de Balastros instalados en el sistema fluorescente del edificio A.....	37
Figura 14. Distribución de luminarias y puntos de medición final en salones	43
Figura 15. Distribución de luminarias y puntos para los laboratorios.....	44
Figura 16. Características del Luxómetro utilizado.....	46
Figura 17. Luminaria con lámpara sin operar correctamente	49
Figura 18. Reproducción de un salón en DIALux evo	56
Figura 19. Verificación de software con mediciones reales	59
Figura 20. Diseño en DIALux evo de un salón cambiando la configuración del sistema de iluminación	61
Figura 21. Ejemplo de obtención del factor de utilización (Tabla 4)	63
Figura 22. Verificación del software con 328 lux de iluminación promedio	66
Figura 23. Luminaria adicional en Registro Escolar	69
Figura 24. Luminaria PANLED3-36-ES-NW	70
Figura 25. Diseño propuesto de iluminación con 9 luminarias PANLED3-36-E5-NW	73
Figura 26. Diseño propuesto de iluminación con 6 luminarias PANLED3-36-E5-NW	73

Figura 27. Diseño propuesto de iluminación con 6 luminarias y modificación de configuración PANLED3-36-E5-NM	74
Figura 28. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en salones	76
Figura 29. Distribución del plafón en salones diferentes casos.....	77
Figura 30. Simulación en DIALux evo de cubículo	79
Figura 31. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en cubículos	80
Figura 32. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en laboratorios	81
Figura 33. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en talleres y laboratorios.....	82
Figura 34. Simulación en DIALux evo de un aula de cómputo	83
Figura 35. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en aulas de cómputo	83
Figura 36. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en Lab. Auto – acceso A002 ..	84
Figura 37. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en Lab. Auto – acceso A003 ..	84
Figura 38. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en Biblioteca.....	85
Figura 39. Acercamiento de la propuesta de diseño del sistema de iluminación en Biblioteca	85
Figura 40. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en registro escolar.....	89
Figura 41. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en aula multimedia gr	89

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Depreciación gradual de una lámpara fluorescente y una lámpara LED	18
Gráfica 2. Distribución de las zonas de trabajo por actividad y por superficie, en los edificios SLT de la UACM	34
Gráfica 3. Total de lámparas y número de lámparas sin operar correctamente.....	50
Gráfica 4. Nivel de iluminación en salones de los edificios A, B y C de la UACM.....	51
Gráfica 5. Niveles de iluminación en áreas administrativas en los edificios UACM	53

Gráfica 6. Nivel de iluminación en cubículos de los edificios D y E de la UACM	54
Gráfica 7. Nivel de iluminación en laboratorios, aulas de cómputo y talleres en los edificios de la UACM	55
Gráfica 8. Nivel de iluminación con luminarias PANLED3-36-E5-NW respecto a la altura	75
Gráfica 9. Nivel de iluminación respecto a la variación del Factor de mantenimiento F_m .	76
Gráfica 10. Energía consumida y ahorro por sustitución de luminarias en los edificios del plantel SLT	93

Índice de tablas

Tabla 1. Intervalos de temperatura de color correlacionada.....	13
Tabla 2. Coeficientes de reflexión.....	14
Tabla 3. Factor de mantenimiento	15
Tabla 4. Factor de utilización	16
Tabla 5. Nivel de uniformidad en relación con el nivel de iluminación	17
Tabla 6. Áreas de estudio del edificio A	29
Tabla 7. Áreas de estudio del edificio B.....	30
Tabla 8. Áreas de estudio del edificio C.....	31
Tabla 9. Áreas de estudio del edificio D	32
Tabla 10. Áreas de estudio del edificio E.....	33
Tabla 11. Energía consumida con lámparas en los edificios de Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM	38
Tabla 12. Niveles de Iluminación mínimos requeridos para los edificios de la UACM.....	38
Tabla 13. Niveles de iluminación por área de trabajo para los edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM	39
Tabla 14. Relación entre el índice de área y el número de zonas de Medición.....	42

Tabla 15. Índice de área en relación a las dimensiones de las áreas de los edificios del Plantel San Lorenzo de la UACM	45
Tabla 16. Niveles máximos permisibles del factor de reflexión	45
Tabla 17. Materiales y grado de reflexión DIALux evo.....	57
Tabla 18. Nivel de iluminación en salones.....	58
Tabla 19. Nivel de iluminación y uniformidad en DIALux evo a diferentes alturas	60
Tabla 20. Información para el cálculo del flujo luminoso.....	63
Tabla 21. Número de lámparas con diferentes valores de Fm.....	67
Tabla 22. Resumen de resultados obtenidos en DIALux evo con luminarias propuestas en salones	78
Tabla 23. Simulación con luminarias propuestas en cubículos	80
Tabla 24. Simulación con luminarias propuestas en Lab. Tall., aulas de cómputo y biblioteca	86
Tabla 25. Simulación con luminarias propuestas en áreas administrativas.....	90
Tabla 26. Energía consumida con luminarias propuestas en los edificios de Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM	92
Tabla 27. Facturación eléctrica mayo 2024 – abril 2025 Plantel San Lorenzo Tezonco, UACM	93
Tabla 28. Inversión económica con luminarias propuestas.....	94

Introducción

El presente trabajo es una consecuencia de estudios realizados por el Programa de Energía de la UACM (PEUACM), derivado de la evaluación normativa y energética del sistema de iluminación del Edificio A del Plantel San Lorenzo Tezonco de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (estudio realizado en 2022), al sustituir lámparas fluorescentes por lámparas LED evaluando el cumplimiento de la normatividad vigente sobre niveles de iluminación NOM-025-STPS-2008.

Cabe señalar que la evaluación normativa del sistema de iluminación se dio conforme a los resultados obtenidos a través de un proyecto piloto, donde se encontró que, a partir de la transición de tecnología en las luminarias, la iluminación mejoró en las áreas de estudio de forma general en un 50%, cumpliendo con los niveles de iluminación en el 52% del total de las áreas en el Edificio A.

En relación con lo anterior, el objetivo del presente trabajo es optimizar el diseño del sistema de iluminación de los cinco edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, de manera que cumplan al 100% con los requerimientos de confort visual y uniformidad de la luz, establecidos en la NOM-025-STPS-2008 (niveles mínimos de iluminación en centros de trabajo), mediante una herramienta de simulación de iluminación que permita evaluar los espacios característicos de la instalación educativa con alternativas tecnológicas de mayor eficiencia energética.

En este sentido, en el Capítulo 1 se hace una revisión de los estudios previos realizados por el Programa de Energía en el sistema de iluminación del Plantel San Lorenzo Tezonco, donde se observa como una constante la problemática de los bajos niveles de iluminación, a partir de la evaluación normativa y energética, dando lugar a la importancia del objetivo del presente trabajo.

Como un elemento clave para lograr la optimización en el diseño de los sistemas de la iluminación, es necesario comprender los principios básicos de iluminación (conceptos y

magnitudes), sus componentes y características; así como, las normativas empleadas y el procedimiento para su correcta evaluación, los cuales se describen en el Marco Teórico (Capítulo 2).

En el Capítulo 3 se realiza el reconocimiento e identificación de las distintas áreas del Plantel, con la información necesaria para llevar a cabo la evaluación normativa de los niveles de iluminación requeridos de acuerdo a la actividad que se desarrolla. De igual forma, se registró la cantidad de luminarias, tipo de tecnología, potencia nominal y tiempo de uso, éste último para obtener un estimado del consumo de energía.

En el procedimiento para optimizar el diseño de los sistemas de iluminación se empleó el software de DIALux evo, una herramienta ideal para simular sistemas de iluminación; sin embargo, para su adecuado manejo, además de horas de capacitación, es necesario ajustar las variables de control a la situación real de cada área (factores de reflexión por color y textura de muebles, paredes y techos, así como factores de mantenimientos de las luminarias, entre otras), validando los resultados obtenidos con mediciones reales de los niveles de iluminación. Este proceso se presenta en el Capítulo 4.

Por último, en el Capítulo 5 se realiza un análisis de los resultados obtenidos con la propuesta de optimización en el diseño del sistema de iluminación y la integración de una nueva luminaria con mayor rendimiento lumínico en las diferentes áreas de estudio de los edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, donde se logra elevar los niveles de iluminación por arriba de los requerimientos normativos, además de disminuir el consumo de energía y obtener ahorros económicos.

Capítulo I. Marco contextual

El objetivo principal de la Ley de Transición Energética (DOF, 2015) es *“regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos”*; siendo imprescindible, para la operación o modificación de las edificaciones, buscar la mayor sostenibilidad y eficiencia. En México, los edificios residenciales y no residenciales son los mayores consumidores de energía eléctrica en el país, excediendo al consumo de electricidad de la industria en 11% (Chatellier & McNeil, 2019).

En la mayor parte de los edificios de los distintos sectores, la iluminación representa un porcentaje elevado de consumo energético. Dichos porcentajes oscilan entre 10% y 50% del consumo energético dentro de cualquier edificación, por lo que la iluminación se considera como un aspecto importante a considerar (Sánchez, 2015). Tanto el consumo energético como el adecuado nivel de iluminación en áreas de trabajo son de suma importancia, pues cuando no se cuenta con ellos, impide que las personas desempeñen sus actividades adecuadamente.

El presente trabajo toma como base el estudio realizado por el Programa de Energía de la UACM (PEUACM) en el sistema de iluminación en el Plantel San Lorenzo Tezonco de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), donde se disminuyó el consumo total de la energía del plantel, derivado de la transición de tecnología al sustituir las lámparas fluorescentes por LED, mejorando los niveles de iluminación y niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para el Alumbrado (DPEA), pero aún sin alcanzar los niveles de iluminación requeridos para el cumplimiento de la normativa vigente.

En este sentido, se observa que a pesar de las mejoras obtenidas en los niveles de iluminación por el cambio tecnológico, no fue suficiente para cumplir con los estándares de la NOM-025-STPS-2008, dado que existen áreas en el interior de los edificios de Plantel San Lorenzo

Tezonco de UACM sin alcanzar los niveles de iluminación adecuados referenciados en dicha norma, por lo que se plantea optimizar el diseño del sistema de iluminación, mediante el uso de un software de simulación (DIALux evo), el cual permitirá asegurar una buena iluminación a la comunidad de la institución.

1.1. Planteamiento del problema

Una buena iluminación es de vital importancia para el desarrollo de actividades en las diferentes áreas de trabajo, motivo por el cual, el sistema de iluminación debe contar con la iluminancia adecuada, con el principal objetivo de garantizar el bienestar y cuidado de la salud de las personas que desarrollan tareas en dichas áreas aumentando la seguridad como lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008.

En las instalaciones educativas, la correcta iluminación proporciona a estudiantes, profesores, personal administrativo y auxiliar, un ambiente agradable y atractivo; en otras palabras, contar con los niveles de iluminación adecuados para las tareas educativas permite realizar las actividades sin demandar esfuerzos visuales, o algún malestar físico producido por una mala iluminación, buscando siempre el confort visual, reduciendo accidentes y mejorando el estado de ánimo.

El presente trabajo es un seguimiento de estudios realizados por el PEUACM y una consecución de proyectos elaborados por estudiantes del mismo, originados por problemáticas que presenta el sistema de iluminación, uno de los principales consumidores de energía eléctrica del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, motivo por el cual se ha realizado la búsqueda de estrategias y la implementación de nuevas tecnologías con la finalidad de mejorar eficientemente los niveles de iluminación, mediante la verificación del cumplimiento normativo.

De acuerdo con la previa evaluación energética y normativa en el edificio A del Plantel San Lorenzo Tezonco, en relación al sistema de iluminación, al llevar a cabo la transición de tecnología de fluorescente a LED, se obtuvo la estimación de la energía consumida con una

disminución del 46%, lo cual representó un ahorro económico del 7% de la facturación eléctrica del Plantel (Romero, 2022).

Así mismo, al realizar la sustitución de lámparas fluorescentes por LED en las luminarias del edificio A, los niveles de eficiencia energética en términos de DPEA mejoraron considerablemente al cumpliendo de los estándares establecidos por la NOM-007-ENER-2014 (Romero, 2022).

En cuanto a los niveles de iluminación en el edificio A, estos se elevaron un 50% en todas las áreas; sin embargo, no se alcanzaron los niveles de iluminación establecidos en la NOM-025-STPS-2008, lo que hace que el sistema de iluminación sea ineficiente dado que el 48% de las áreas analizadas del edificio A no cumplen con la norma. De manera específica, se encontró que el 91% de los salones cumplen con los niveles de iluminación, de las áreas administrativas solo el 62% y, en el caso de los laboratorios, talleres y aulas de cómputo, ninguno de ellos alcanzó el mínimo de iluminación requerido por la norma, motivación para continuar con el análisis del sistema de iluminación en el Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM.

Actualmente los 5 edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco, cuenta con dos tecnologías identificadas en el sistema de iluminación: lámparas fluorescentes T8 (tecnología obsoleta que se espera que salga del mercado) y lámparas LED T8, las cuales están sustituyendo a las lámparas fluorescentes. Esta sustitución inició en el 2022 con el edificio A, y dado los buenos resultados obtenidos, se ha seguido de manera paulatina con los demás edificios, aunque es una buena estrategia, es claro que sigue presente la problemática del incumplimiento de la normatividad en los niveles de iluminación obligatorios.

1.2. Justificación

En el Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM se ofrecen 16 licenciaturas distribuidas en tres Colegios: Humanidades y Ciencias Sociales, Ciencias y Humanidades y Ciencia y Tecnología. Cuenta con 5 edificios principales: Los edificios A, B y C, se encuentran las

aulas, laboratorios, talleres y algunas oficinas administrativas; mientras que los edificios D y E, están los cubículos de profesores, salas de juntas y la coordinación del plantel.

Actualmente, la tecnología predominante en el sistema de iluminación es de lámparas LED, aunque en algunos edificios se tiene una combinación de luminarias con lámparas fluorescente y lámparas LED. Las lámparas fluorescentes fueron instaladas en el año 2004 como diseño original del Plantel, la cual contaba con un programa inteligente que controlaba el sistema de iluminación con sensores de presencia y atenuación de los niveles de iluminación para las distintas actividades desempeñadas en el plantel; no obstante, el sistema de iluminación fue sufriendo daños que ocasionaron que el programa inteligente quedara deshabilitado e inoperable.

En el año 2022, el PEUACM realizó un proyecto piloto en el edificio A donde las lámparas fluorescentes de 32 W fueron remplazadas por lámparas LED de 18 W, donde se obtuvieron mejoras en niveles de eficiencia energética en términos de DPEA e iluminación, cumpliendo al 100% con la NOM-007-ENER2014 y teniendo el 52% de las áreas con niveles de iluminación adecuados para el cumplimiento de la NOM-025-STPS-2008, de acuerdo con la evaluación normativa preexistente.

Con la transición de tecnología al sustituir las lámparas fluorescentes por LED el aumento de iluminación en todas las áreas fue del 50% (Romero, 2022). Sin embargo, al realizar un nuevo reconocimiento de áreas y mediciones basados en el procedimiento de norma mexicana en iluminación, se encontró que ahora ningún espacio en el interior de los cinco edificios del plantel cuenta con los valores mínimos requeridos para la actividad que realiza, es decir que no cumple con la norma. Esto puede deberse a varios motivos, por un lado, al hecho de presentar fallas en su funcionamiento que les impide operar al 100%, por otro lado, puede estar relacionado con la degradación gradual de luz de la lámpara, dado que la cantidad de luz disminuye con el transcurso del tiempo.

El esfuerzo e importancia de realizar este estudio al identificar el estado actual del sistema de iluminación, y con base en los resultados, es proponer una solución implementando un

sistema de iluminación con el que se garantice áreas bien iluminadas y el cumplimiento de la normativa vigente, la cual es de carácter obligatorio, apoyados de un software especializado en diseños de iluminación llamado DIALux evo, aplicado en la planificación y diseño de iluminación con modelados en tres dimensiones (3D), el cual agiliza los cálculos cambiando la configuración de las luminarias, el tipo de lámparas, la cantidad y altura de las mismas, tomando en cuenta el factor de uniformidad para obtener un óptimo confort visual.

1.3. Objetivo general

Optimizar el diseño del sistema de iluminación de los cinco edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, de manera que cumplan al 100% con los requerimientos de confort visual y uniformidad de la luz, establecidos en la NOM-025-STPS-2008, mediante una herramienta de simulación de iluminación que permita evaluar los espacios característicos de la instalación educativa con alternativas tecnológicas de mayor eficiencia energética.

1.4. Objetivos específicos

- Realizar un censo completo del sistema de iluminación, identificando las áreas de estudio de los cinco edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM.
- Evaluar los niveles de iluminación de cada área conforme al procedimiento establecido en la NOM-025-STPS-2008.
- Validar los resultados del software DIALux evo con mediciones reales tomadas en las áreas de estudio de los edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM.
- Crear un diseño que permita cumplir la normativa, en primera instancia, redistribuyendo las luminarias actuales del sistema de iluminación y, en los casos donde no sea posible, elaborar una nueva propuesta de diseño para el sistema de iluminación a través del software DIALux evo.
- Considerar en el diseño un factor de uniformidad mayor al 50 %, sin superar el índice de deslumbramiento que recomienda la Norma Europea sobre la iluminación para interiores (UNE 12464.1).
- Evaluar si el nuevo diseño optimizado del sistema de iluminación incrementará o disminuirá el consumo energético.

Capítulo II. Marco Teórico

En el proceso de diseño de iluminación es necesario conocer conceptos básicos empleados en el estudio de luminotecnia, la función que desempeña cada uno de los elementos que integran el sistema de iluminación, así como la forma apropiada de evaluar el cumplimiento de las normas implicadas.

2.1. Conceptos básicos de iluminación

La luminotecnia es la ciencia que se dedica a estudiar las diferentes formas de producir luz, así como su control y aplicación, fundamentada en una serie de magnitudes y unidades de medición para la representación cuantitativa de sus propiedades, cualidades y características, es decir, la forma en que se puede medir la calidad de la iluminación.

2.1.1. Flujo luminoso

El flujo luminoso describe la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones, como se observa en la Figura 1. Quizhpi (2015), la define como la potencia producida en forma de radiación luminosa visible para el ojo humano. El símbolo para el flujo luminoso es representado por la letra griega Φ (phi) y su unidad de medida es el lumen (lm).

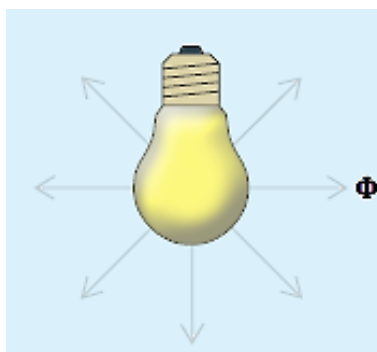


Figura 1. Flujo luminoso
Fuente: (Cad-Projects, 2011)

Las fuentes de iluminación idénticas pueden ser comparadas de acuerdo a su consumo. Sin embargo, cada fuente de luz produce diferentes cantidades de luz, por lo tanto, no se puede comparar una lámpara con otra, aunque sean idénticas de acuerdo a la cantidad de consumo. La forma para comparar dos fuentes de luz, aunque sean idénticas es por la cantidad de luz que produce, en otras palabras, por el flujo luminoso (Auer Signal, S.F.).

2.1.2. Eficacia luminosa

La eficacia luminosa o también conocido como rendimiento luminoso, es la relación que existe entre la cantidad de luz emitida por una fuente y el consumo de la misma, el cual puede ser descrito como el cociente del flujo luminoso por la potencia energética que consume (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 *Ec. (1)*:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad Ec. (1)$$

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

En esencia, cuando mayor sea el valor de la eficiencia luminosa, el flujo luminoso será mayor que lo que consume la fuente de iluminación.

2.1.3. Intensidad luminosa

La intensidad luminosa describe la cantidad que irradia una fuente luminosa en determinada dirección. De acuerdo con Zumtobel (2018), asegura que es una medida útil para el alumbrado de elementos direccionales como los reflectores. El símbolo de la intensidad luminosa es “*I*” y se miden en candelas (cd). La intensidad lumínica se determina con la siguiente ecuación (*Ec. (2)*):

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad Ec. (2)$$

Donde:

I = intensidad luminosa (cd)

Φ = flujo luminoso (lm)

ω = ángulo sólido ($^{\circ}$)

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 un haz de luz en algún punto del espacio.

Auer Signal (S.F.), menciona que la intensidad luminosa es la relación de la cantidad de luz con el ángulo del haz de luz. La Figura 2 muestra dos lámparas con el mismo flujo luminoso, pero con diferente ángulo de haz, donde la intensidad es mayor cuando el ángulo de haz es más estrecho.

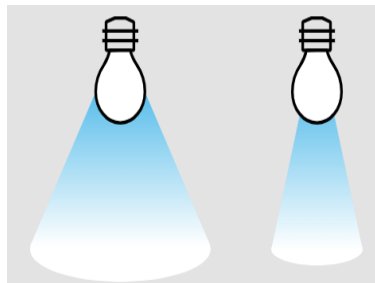


Figura 2. Intensidad luminosa
Fuente: (Auer Signal, S.F.)

2.1.4. Iluminancia

La iluminancia o nivel de iluminación, se define como el flujo luminoso que incide sobre una superficie, se simboliza con la letra “ E ” y su unidad de medida es el lux, donde un lux equivale a un lm/m^2 (Marrufo & Castillo, 2018). Como se observa en la Figura 3, el nivel de iluminación se calcula con la siguiente expresión (Ec. (3)):

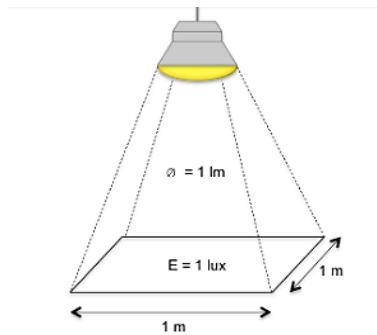
$$E = \frac{\Phi}{S} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

E = iluminancia o nivel de iluminación (lx)

S = área de la superficie iluminada (m^2)

Φ = flujo luminoso (lm)



*Figura 3. Iluminancia
Fuente: (Morente, 2013)*

2.1.5. Luminancia

El brillo o luminancia es la relación entre la superficie aparente vista por el ojo humano y la intensidad luminosa en una dirección determinada, tal y como la define 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 (Ec. (4)):

$$L = \frac{I}{A \cos \alpha} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

L = luminancia (cd/m^2)

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

α = ángulo de emisión ($^\circ$)

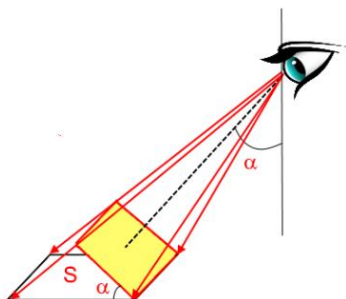


Figura 4. Luminancia
Fuente: (COMPARALux, 2020)

2.1.6. Temperatura de color

La temperatura de color es una expresión comúnmente utilizada para indicar el color de luz o iluminación emitida, comparándola con un cuerpo negro. “*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*” (Laszlo, 2018).

La temperatura de color se expresa en grados Kelvin (K), aunque es una unidad para medir temperatura, en iluminación se utiliza para indicar el color de la fuente luminosa. Un ejemplo claro, es lo que se observa con el color de la llama de una vela, el color que toma es similar a un cuerpo metálico negro que, al calentarse a una temperatura aproximada a 1,800 K toma el color de la llama. Por tanto, la temperatura de color de la llama de la vela es de 1,800 K.

En las fuentes luminosas se pueden obtener diferentes colores de luz, en la Tabla 1 se muestra tres intervalos de temperatura comúnmente usados en lámparas y su apariencia en color.

Tabla 1. Intervalos de temperatura de color correlacionada

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

Fuente: Elaboración propia con información de García J., (2016)

2.2. Elementos de análisis para un diseño de iluminación

En el diseño de iluminación es necesario del conocimiento de elementos fundamentales, comparando valores con índices, factores y coeficientes a fin de obtener una buena iluminación.

2.2.1. Índice de rendimiento cromático CRI

El índice de rendimiento cromático (CRI, por sus siglas en inglés) determina la capacidad que tiene una fuente de luz de reproducir los colores de los objetos en comparación con la luz natural en una escala de cero a 100.

De acuerdo con Canalejo (2023), la determinación del CRI se realiza midiendo la luz de una luminaria comparándola con el color de la luz reflejada en ocho muestras de color testados. Las fuentes de luz con temperatura mayor a 5,000 K son comparadas directamente con la temperatura de la luz solar, mientras que con las son inferiores de esa temperatura de color, con un cuerpo negro.

2.2.2. Coeficiente de reflexión

El coeficiente de reflexión, nos indica la proporción de luz que una superficie refleja en comparación con la cantidad de luz que incide sobre ella. Esta medida está representada de forma porcentual y está vinculada con el tipo y textura del material, así como el color de paredes, techos y suelos. El coeficiente de reflexión se utilizado en el cálculo luminotécnico del método lumen.

En resumen, entre más lisa sea una superficie y tenga un color más claro, el coeficiente de reflexión tomará un valor más alto y la luminancia será más eficiente. En la Tabla 2 se presentan los valores que toma el coeficiente de reflexión para paredes, techo y suelo con diferentes colores.

Tabla 2. Coeficientes de reflexión

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

Fuente: Elaboración propia con información de Salazar B., (2016)

2.2.3. Índice de deslumbramiento unificado UGR

“El deslumbramiento es la sensación visual causada por una intensidad de luz excesiva e incontrolada dentro del campo visual del individuo” (Ansell Lighting, 2025). Por tanto, el índice de deslumbramiento unificado (UGR por sus siglas en inglés), hace referencia al método para evaluar el deslumbramiento proporcionado por los sistemas de iluminación en los interiores de las áreas donde se desempeña una tarea.

Este puede presentarse de dos formas, por deslumbramiento directo o por reflexión, en ambos casos se presentan malestares tanto fisiológicos como psicológicos. Es importante tomar en cuenta este índice de deslumbramiento para el diseño de iluminación, donde pueden ocurrir diferentes tipos de deslumbramiento, tal y como se observa en la Figura 5, enumerados del 1 al 3.

En el caso 1, se presenta un deslumbramiento directo, ocasionado principalmente por la fuente de iluminación. El deslumbramiento por reflexión horizontales y verticales, están

representado con el número 2 y 3, donde se puede apreciar que son producidos por el reflejo de muebles y herramientas para desempeñar una tarea visual al interior de un espacio.

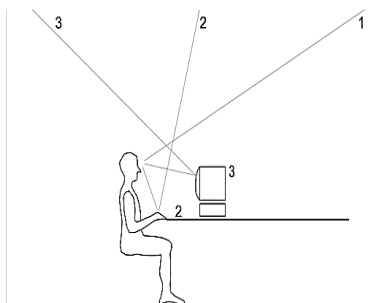


Figura 5. Deslumbramiento que pueden producirse

Fuente: (ERCO, 2023)

2.2.4. Factor de mantenimiento

El factor de mantenimiento está relacionado directamente con la fuente emisora de iluminación y las condiciones de la luminaria; es decir, si se encuentra limpia o sucia. Aunque también influye el tipo y la calidad de lámpara y luminaria, así como el terreno donde se encuentran debido a la cantidad de suciedad y polvo que éstas puedan acumular.

La Tabla 3 muestra el factor de mantenimiento de la luminaria en relación con el grado de contaminación.

Tabla 3. Factor de mantenimiento

Nivel de contaminación del sistema	Intervalo de mantenimiento					
	1 año	2 años	3 años	4 años	5 años	6 años
Muy limpio	0.96	0.94	0.92	0.9	0.88	0.87
Limpio	0.93	0.89	0.85	0.82	0.79	0.77
Normal	0.89	0.84	0.79	0.75	0.7	0.67
Sucio	0.83	0.78	0.73	0.69	0.65	0.62

Fuente: Elaboración propia con información de AGC Lighting, (2023)

2.2.5. Factor de utilización

El factor o coeficiente de utilización es proporcionado por el fabricante, el cual depende del tipo de luminaria, índice de cuarto y porcentaje de reflectancias. Sirve para calcular el número de lámparas necesarias para alcanzar el nivel de iluminación deseado. Este suele ser expresado como: “La relación que representa la cantidad de luz que llega a la zona deseada en comparación con la luz total emitida por las lámparas de la luminaria” (Horace, 2023).

A continuación, la Tabla 4 presenta el factor de utilización de Philips para una luminaria:

Tabla 4. Factor de utilización

Índice de habitación	Reflectancias (%) para techo, paredes y plano de trabajo										
	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00
	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
0.60	0.42	0.40	0.40	0.39	0.38	0.31	0.29	0.25	0.28	0.24	0.20
0.80	0.51	0.48	0.49	0.48	0.47	0.39	0.37	0.32	0.35	0.30	0.26
1.00	0.60	0.55	0.57	0.55	0.53	0.46	0.43	0.38	0.41	0.36	0.32
1.25	0.67	0.62	0.65	0.62	0.60	0.52	0.49	0.44	0.46	0.42	0.37
1.50	0.74	0.79	0.70	0.67	0.65	0.57	0.54	0.49	0.51	0.47	0.41
2.00	0.83	0.74	0.79	0.75	0.72	0.65	0.62	0.57	0.58	0.54	0.48
2.50	0.90	0.79	0.85	0.81	0.77	0.71	0.67	0.62	0.63	0.59	0.53
3.00	0.94	0.83	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.67	0.66	0.63	0.57
4.00	1.01	0.87	0.96	0.90	0.84	0.80	0.75	0.72	0.71	0.68	0.62
5.00	1.05	0.90	1.00	0.93	0.87	0.83	0.79	0.76	0.74	0.71	0.65

Fuente: Elaboración propia con información de PHILIPS, (2016)

2.2.6. Factor de uniformidad

De acuerdo con la norma UNE 12464.1, de la Comisión de Normalización Europea, el factor de uniformidad se refiere a la intensidad de la luz en un área determinada, dicho factor es aplicado independientemente de tamaño o la condición de cada determinada área y depende de la actividad que se realiza dentro de ella.

La norma UNE 12464.1, recientemente anuló todas las demás normas nacionales existentes en las que se toma en cuenta esta norma, con el objetivo de hacer obligatorio cumplir con los niveles de iluminación en el interior de los espacios de trabajo. De igual forma, en su actualización elimino la columna con el nivel de uniformidad, motivo por el cual, en este proyecto se hará referencia a la misma norma, pero en la versión publicada en 2002.

Todas las áreas de trabajo deben tener una buena uniformidad en su iluminación, con la finalidad de evitar incomodidad de las personas que desarrollan actividades en su interior y mantener una buena iluminación. Siendo las áreas circundantes inmediatas, salones, áreas administrativas, talleres, aulas de cómputo, laboratorios, etc.

De acuerdo con la norma europea, el área de trabajo deberá iluminarse de la forma más uniforme posible, la uniformidad de la iluminación de la tarea y de las áreas circundantes no deberá ser inferior a los valores indicados. A continuación, en la Tabla 5, muestra el nivel de uniformidad de acuerdo al nivel de iluminación en lux que necesita cada área.

Tabla 5. Nivel de uniformidad en relación con el nivel de iluminación

Iluminación de la Tarea lx	Nivel de iluminación de las áreas circundantes inmediatas lx
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	
Uniformidad ≥ 0.7	Uniformidad ≥ 0.5

Fuente: Elaboración propia con información de UNE 12464.1, (2002)

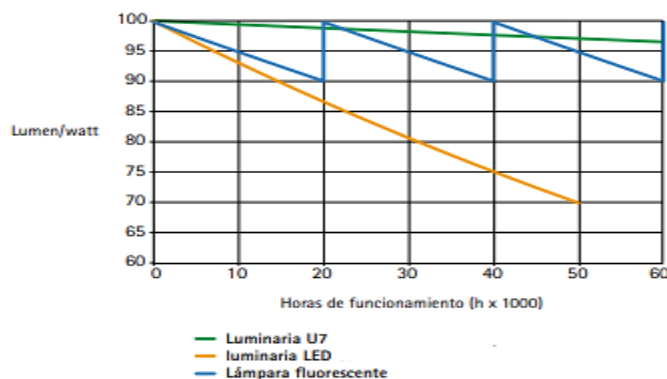
2.2.7. Vida útil de luminarias y lámparas

En general, las luminarias con cualquier tipo de tecnología ofrecen una vida prolongada, la cual siempre depende de la instalación o la situación en la que se encuentre, desde el factor de utilización o el mismo factor de mantenimiento asociado.

Por otro lado, la vida útil de una fuente de luz comúnmente suele confundirse con la vida media, la primera hace referencia al tiempo en la cual dicha fuente funciona sin perder su rendimiento luminoso y la segunda al tiempo en que tardara en dejar de funcionar (Ambientes soluciones, 2021). Toda fuente de luz ya sea fluorescente o led, sufre una depreciación gradual de luz. Dicho en otras palabras, el rendimiento luminoso disminuye con el tiempo.

La degradación va más allá de la calidad de la tecnología, también influye la temperatura interna la luminaria, además, de factores externos como el tipo de terreno, ambiente y la calidad de la disipación térmica de los alrededores. El factor de mantenimiento del flujo luminoso de la lámpara, indica la cantidad de luz que emitirá después de un número determinado de horas en funcionamiento. De este modo, señala el grado de deterioro de la fuente de luz de un bloque luminoso a largo tiempo.

En la Gráfica 1, se muestra el deterioro de luz en una luminaria de dos tipos de tecnología, lámparas fluorescentes (línea azul) y lámparas LED (línea verde y amarilla) con factores de mantenimiento en su flujo luminoso al transcurrir un determinado tiempo.



Gráfica 1. Depreciación gradual de una lámpara fluorescente y una lámpara LED

2.3. Componentes esenciales para el diseño de un sistema de iluminación

En el diseño de un sistema de iluminación es necesario conocer los elementos esenciales para suministrar la cantidad de iluminación adecuada, sin descuidar aspectos estéticos y energéticos, desde la selección de luminaria hasta el tipo de tecnología acorde a las necesidades que se requieran y de acuerdo a las áreas donde se realizan actividades definidas.

2.3.1. Luminarias

Una luminaria es un dispositivo encargado de controlar, distribuir, filtrar o transformar la luz emitida por una o más lámparas, conteniendo todos los componentes necesarios para su protección, fijación y funcionamiento, teniendo en cuenta que las luminarias también deben tener ciertas propiedades que cumplan con características ópticas, eléctricas y mecánicas.

Karlen y R. Benya (2004) la definen como: *“Una luminaria es cualquier dispositivo que incluya un portalámparas y medios de electrificación y soporte de dicho dispositivo. Los aparatos de alumbrado son luminarias que están fijadas permanentemente a un edificio”*.

Como se mencionó, las luminarias se caracterizan por la manera en la que distribuyen la luz, las cuales buscan la forma de aportar la iluminación de acuerdo a las necesidades o a la actividad que se realiza. Existen varias luminarias, por ejemplo: las luminarias de luz directa e indirecta, siendo las primeras las que dirigen la iluminación hacia abajo, mientras que las segundas lo hacen hacia arriba rebotando en el techo.

También están las luminarias difusas que proporcionan la iluminación en todas las direcciones, las luminarias semidirectas o semi-indirectas las cuales dirigen la luz hacia arriba y abajo en distintos porcentajes (ver Figura 6). Las luminarias orientadas que son directas, pero como su nombre lo dice pueden modificar la dirección en las cuales se proyectará la iluminación. Por último, las asimétricas, las cuales son diseñadas para casos específicos.

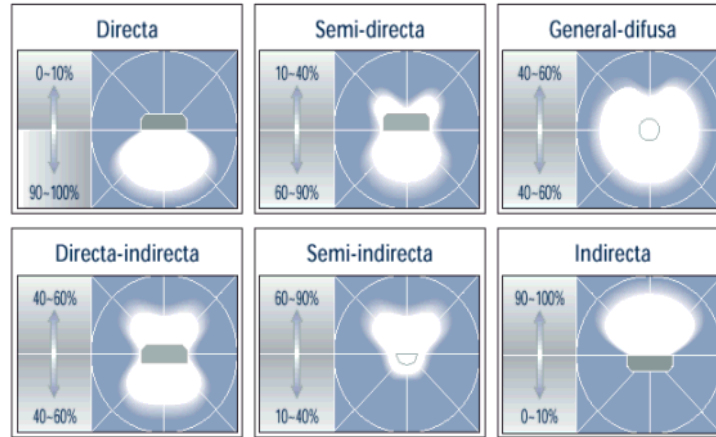


Figura 6. Luminarias. Clasificación por la emisión de flujo

Fuente: (tuveras, s.f.)

Aunque existe variedad de luminarias, de forma general, las luminarias están conformadas por ciertos elementos que hacen que funcionen correctamente, los cuales se presentan a continuación:

- Armadura o carcasa. Elemento que tiene por función ser el soporte incluyendo los componentes de la luminarias y lámparas.
- Dispositivos eléctricos. Equipo eléctrico que depende del tipo de lámpara utilizada, los cuales incluyen los elementos necesarios para el encendido y el funcionamiento.
- Filtros. Son los elementos que controlan la radiación luminosa emitida por las lámparas, es decir, la potencian o disminuyen la iluminación.
- 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.

Existe una gran variedad de diseños o modelos de luminarias según el tipo y características de la instalación, cantidad y tipo de lámpara, así como a la actividad que se realice en el espacio a iluminar. El Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, utiliza luminarias como la que se muestra en la Figura 7, la cuales son las luminarias más comerciales para lámparas fluorescentes T8 y T12 (diseño original de iluminación).

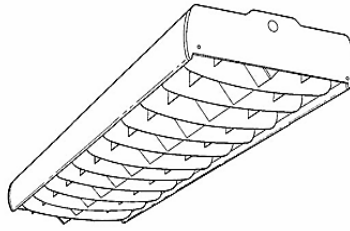


Figura 7. Luminaria comercial para lámparas fluorescentes

Fuente: (Karlen & Benya, 2004)

Como se mencionó, este tipo de luminarias contiene comúnmente a las lámparas fluorescentes, las cuales son omnidireccionales, es decir, emite luz en todas las direcciones lo que presenta una de sus principales deficiencias, ya que al menos la mitad de luz debe redirigirse o reflejarse al área deseada (StouchLighting, 2016). Por tanto, la eficiencia de la luminaria es el porcentaje de la luz que emite la luminaria del total producido por la lámpara.

A continuación, se hace una breve explicación de las lámparas con la tecnología que encuentran en el Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, empezando con el diseño original con lámparas fluorescentes, seguido de las lámparas LED quien reemplazaron a las primeras.

2.3.2. Tipos de tecnología en lámparas

Actualmente, existen un sinnúmero de tecnologías que están en el mercado en cuestión de lámparas, motivados por el esfuerzo de ofrecer una mejor eficiencia y calidad, en otras palabras, un menor consumo energético y la mayor cantidad de iluminación. En la Figura 8, se observa una de las tantas clasificaciones del tipo de lámparas por categoría y subcategoría en un esquema planteado por Arbona (2020).

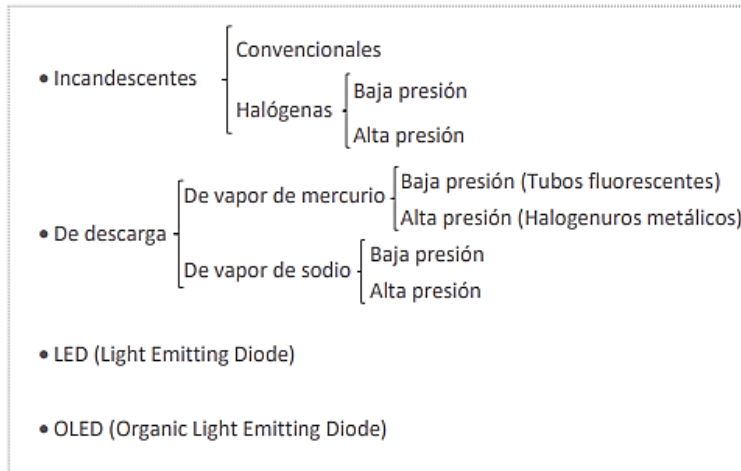


Figura 8. Tipos de lámparas
Fuente: (Arbona H., 2020)

2.3.3. Lámparas Fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son fuentes emisoras de luz originado por una descarga eléctrica, generada por radiaciones derivado del movimiento de electrones a través de gases inertes y vapor de mercurio a baja presión. La fluorescencia es la propiedad que permite que algunas sustancias en virtud, transforma las radiaciones ultravioletas invisibles al ojo humano en radiaciones visibles (Electrical4U, 2024).

Una lámpara lineal consta de un tubo de descarga cerrado de vidrio, cátodos (uno en cada extremo), gas noble (argón o neón), electrodos, las sustancias fluorescentes y los casquillos de conexión, ilustrados en la Figura 9.

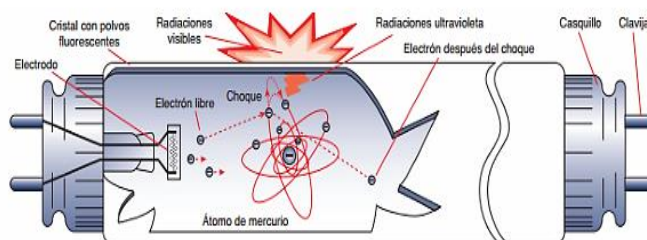


Figura 9. Elementos de una lámpara fluorescente
Fuente: (Marrufo González & Castillo Pedrosa, 2018)

Es importante mencionar que una lámpara fluorescente requiere de algunos elementos auxiliares, como un balastro, para su correcto funcionamiento. En la Figura 10 se muestra la forma de operar de una lámpara fluorescente.

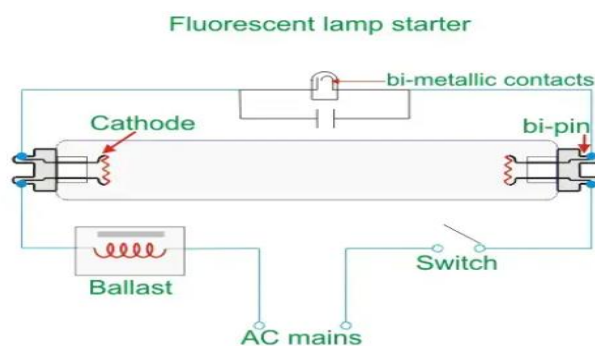


Figura 10. Elementos auxiliares de una lámpara fluorescente
Fuente: (Electrical4U, 2024)

2.3.4. Lámparas LED

Un diodo emisor de luz (por sus siglas en inglés *light emitting diode*), o mejor conocida como una lámpara LED, es un dispositivo electrónico semiconductor el cual está unido a dos terminales, negativo y positivo (cátodo y ánodo). A las lámparas LED al no tener filamentos o gases inertes en su interior se les considera como fuentes de luz en estado sólido; por tanto, la corriente eléctrica se transforma en radiación visible por la excitación de la materia, conociendo a este fenómeno como efecto electroluminiscencia al circular la corriente por la lámpara.

Los elementos internos de una lámpara LED de tipo tubo se muestran en la Figura 11 (Alibaba, 2024), indicados por orden alfabético secuencialmente de la A hasta la J, además del código G5, el cual indica que se trata de una base de dos clavijas separadas 5 milímetros (Benwei Lighting, 2024).

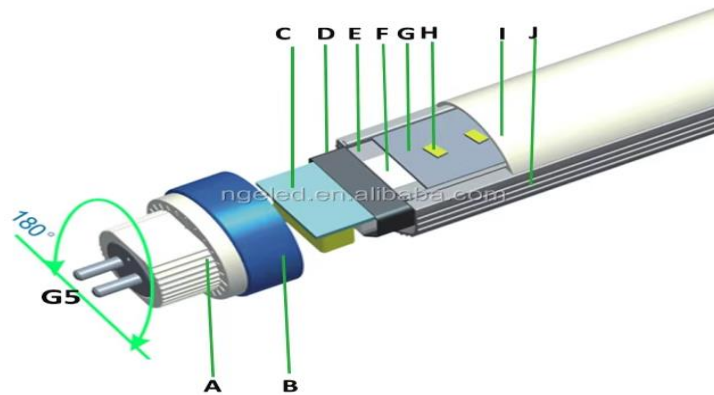


Figura 11. Estructura de un tubo LED
Fuente: (Alibaba, 2024)

Donde:

- A. Tapa giratoria.
- B. Anillo metálico
- C. Driver con capacitor
- D. Protección del conductor
- E. Capa de aluminio
- F. Base de Silicona termo conductora
- G. Placa de circuito impreso (PCB)
- H. LED
- I. Primera cubierta protectora
- J. Carcasa de aluminio

Las lámparas LED también requieren de elementos auxiliares, ya que no se conectan directo a la red de corriente alterna, sino que un Led se ayuda de un driver el cual tiene por función ser una fuente de alimentación, transformando la tensión suministrada y adaptándola a la luminaria, puesto que las lámparas LED operan con corriente continua a baja tensión (Castillo y Marrufo, 2018).

2.4. Normativas

Las NOM son disposiciones reglamentarias técnicas de carácter obligatorio, y en el caso de la NOM-025-STPS-2008 es una norma de iluminación que establece los requisitos para garantizar la calidad y la seguridad mediante los niveles adecuados de iluminación en diferentes entornos de trabajo. El objetivo principal de esta norma es proteger la salud y el confort visual, buscando el bienestar e integridad personal, evitando riesgos y accidentes relacionados con una mala iluminación.

En este proyecto, el estudio se centra en el sistema de iluminación interior de los edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, realizando una evaluación de los niveles de iluminación y posteriormente un diseño de iluminación que garantice la iluminancia adecuada para el cumplimiento de la norma referenciada de iluminación, priorizando la norma nacional apoyado de la internacional, buscando un entorno agradable con un buen confort visual y bajo consumo con tecnologías de vanguardia.

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

2.4.1. 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, cuidando la integridad de las personas que se desarrollan en estas áreas y la salud.

Esta norma establece los niveles de iluminación mínimos necesarios para diferentes áreas donde se desempeñan diferentes tareas. Evitando una mala iluminación que pueda causar deslumbramiento o fatiga visual. Además, contiene el procedimiento y los métodos para evaluar los niveles de iluminación.

La NOM-025-STPS-2008 cuenta con tablas que proporcionan los niveles de iluminación necesarios para cada actividad que se realiza en esos espacios; además de los niveles máximos de factor de reflexión, un amplio listado de aspectos para la verificación

constatando la conformidad física o documental. Resumiendo, la norma es una herramienta de suma importancia para garantizar la salud y la seguridad en áreas de trabajo donde se realicen tareas con una buena iluminación.

2.4.2. UNE 12464-1

La norma europea para la iluminación interior establece los requisitos para garantizar la calidad y seguridad de la iluminación en el interior de los espacios de trabajo. Teniendo como objetivo un confort visual, brindando principalmente el bienestar de sus ocupantes.

Su campo de aplicación es muy amplio, iniciando con establecimientos sanitarios (como hospitales y clínicas), establecimientos educativos y minoristas, siendo estas últimas áreas de ventas o cajas. También es aplicada en lugares de concurrencia pública como los restaurantes, teatros u hoteles y en áreas donde se realizan actividades industriales y artesanales.

Esta norma europea al igual que la mexicana establece los niveles de iluminación, pero de una forma más específica, además de que contempla niveles de deslumbramiento, uniformidad e índice de reproducción cromática de forma independiente y específica.

Capítulo III. Metodología

En este apartado se lleva a cabo la identificación y reconocimiento de las áreas de estudio de los edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco, conociendo el nivel de iluminación necesario de acuerdo a la actividad que se realiza, a fin de efectuar la correcta evaluación mediante los métodos de la normativa referida en este proyecto.

Asimismo, se realiza el cálculo de la carga instalada que mantiene el sistema de iluminación con lámparas fluorescentes y lámparas LED, a fin de estimar la energía consumida.

3.1. Áreas de estudio de los Edificios de la UACM Plantel SLT

El Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, está ubicado en la calle Isidro 151, San Lorenzo Tezonco, Iztapalapa. C.P 09790, CDMX. Los edificios, objeto de estudio, son las principales edificaciones donde profesores, alumnos y personal administrativo desarrolla sus actividades cotidianas (véase la Figura 12).

Los edificios A, B y C están formados por una planta baja y cuatro niveles más, en los cuales existen diferentes espacios donde se desempeñan varias actividades como, salones de clases, laboratorios, aulas de cómputo, talleres y áreas administrativas, entre otros. En cuanto a los edificios D y E, los conforman planta baja y dos niveles adicionales donde la mayoría de los espacios están destinados a cubículos de profesores, aunque cabe resaltar que también mantienen áreas asignadas a otras funciones como atención nutricional, sala de lactancia, radio, y demás tareas.



Figura 12. Edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM

Fuente: (Google maps, 2025)

Los cinco edificios completan un total de 569 áreas identificadas, las cuales serán analizadas de forma individual por edificio. La identificación de las áreas se realiza mediante tablas con la siguiente información:

- Ubicación: se refiere al nivel en donde se encuentra un área.
- Actividad: indica la tarea que se desempeña en su interior.
- Cantidad de áreas: es el número de áreas que realiza la misma actividad en el edificio.
- Lámpara Tipo: hace referencia a la cantidad de lámparas por tipo de tecnología que se tiene en un área, LED o fluorescente (Fluo.).
- Lámpara SOC: significa el estado en el que se encuentra una lámpara sin operar correctamente (SOC).

En la Tabla 6 se muestran las áreas del edificio A con un total de 69 espacios destinados para diferentes actividades, donde se observa un total de 1,416 lámparas de las cuales más del 98% son de tipo LED y el 2% restante es tipo fluorescente. En este edificio se encontraron 289 lámparas SOC (siendo estas de tecnología LED) correspondiendo aproximadamente al 20% del total de las lámparas del edificio.

Tabla 6. Áreas de estudio del edificio A

Ubicación	Actividad	Cantidad de áreas	Lámpara Tipo		Lámpara SOC
			Fluo.	LED	
PB	Registro escolar	1	0	32	4
	Lab. Auto – Acceso	2	0	72	6
	Aula de cómputo	7	0	126	7
	Salón	1	0	18	2
	Aula de Titulación	1	0	16	0
	Servicio Médico	1	0	18	2
1er Nivel	Aula de Talleres	1	18	0	0
	Salón	12	0	216	48
	Lab. Artes Visuales	1	0	18	1
	Taller Letras Habladas	2	0	36	2
2do Nivel	Salón	12	0	216	40
	Aula multimedia	3	6	66	20
3er Nivel	Salón	13	0	234	70
	Lab. Idiomas	2	0	36	2
	Sala de Juntas	1	0	18	6
4to Nivel	Lab. Física	2	0	72	23
	Lab. Química	2	0	72	23
	Lab. Biología	2	0	72	27
	Almacén	3	0	54	6
Total		69	24	1,392	289
			1,416		

Fuente: Elaboración propia (2025)

En el edificio B se tiene un total de 57 áreas, el cual presentó al igual que el edificio A la transición de tecnología, pasando de lámparas fluorescentes a lámparas LED completando un total de 1,344 lámparas en el edificio siendo 1,162 de tecnología LED y el resto fluorescente. Cabe señalar, que como recién se llevó a cabo la sustitución de lámparas, el número de lámparas SOC es muy pequeño en comparación del resto de los edificios, con solo 39 lámparas sin funcionar correctamente, siendo el 3% del total de lámparas, tal y como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Áreas de estudio del edificio B

Ubicación	Actividad	Cantidad	Tipo de Lámpara		Lámpara SOC
			Fluo.	LED	
PB	Área Administrativa	1	0	34	1
	Cafetería	1	0	30	0
	Almacén	1	0	22	1
	Venta Boletos	1	0	12	0
	Biblioteca	1	54	126	8
1er Nivel	Aula multimedia	2	0	54	0
	Difusión Cultural	1	12	6	0
	Cert. y Regto.	1	8	10	0
	Tall. Varios	2	36	0	11
	Tall. Danza	1	0	18	0
	Tall. Artes Populares	1	18	0	4
	Salón con Tatami	1	0	18	0
	Lab.	1	0	18	0
	Tall. Aula	5	0	90	2
2do Nivel	Mod. Matem.	1	18	0	2
	Aula multimedia	1	0	18	0
	Salón	13	8	226	0
3er Nivel	Aula multimedia	1	0	18	0
	Salón	15	0	270	6
4to Nivel	Lab. Física	2	0	72	0
	Lab. Biología	1	0	36	0
	Lab. Redes Comp.	1	0	38	0
	Lab. Química	1	0	36	0
	Lab. Solar	1	28	10	4
Total		57	182	1,162	39
			1,344		

Fuente: Elaboración propia (2025)

El edificio C es que mantiene en operación el mayor número de lámparas con tecnología fluorescente, en comparación con el edificio A y B, derivado a que el reemplazo de lámparas se lleva a cabo de forma paulatina, en tanto las lámparas van dejando de funcionar, el total de lámparas en este edificio es de 1,182, donde el 78% de las lámparas continúa siendo de tecnología fluorescente y el resto con LED.

En la Tabla 8, se presenta el total de áreas que corresponden al edificio C, completando 59 donde se desarrollan las diferentes actividades en cada uno de sus niveles, además, se muestra la cantidad de lámparas con cada tecnología y el número de lámparas que se encuentran sin funcionar correctamente (SOC). Existen áreas de estudio que fueron analizadas, sin embargo, al desconocer su nombre oficial con el que se conoce, se señalaron como “NI” (no identificada) como es el caso de la celda en el 4to nivel de este edificio.

Tabla 8. Áreas de estudio del edificio C

Ubicación	Actividad	Cantidad	Tipo de Lámpara		Lámpara SOC
			Fluo.	LED	
PB	Lab. Pract. Medios	1	24	12	0
	Lab. Sis. Pot.	1	0	26	5
	Lab. Fot.	2	22	8	3
	Obras y Cons.	1	18	2	2
	LACESI	1	14	4	0
	Aula cómputo	1	2	16	4
1er Nivel	Aula multimedia	2	34	2	0
	Salón	14	236	16	39
2do Nivel	Aula multimedia	2	36	0	6
	Salón	14	228	24	51
3er Nivel	Prog. Energía	1	12	6	0
	Centro Estudio Ciudad	1	18	0	0
	Área adm.	1	18	0	13
	Salón	12	168	48	38
4to Nivel	Lab. Rob. Autom.	1	36	0	2
	Lab. Control	1	12	26	0
	Almacén	1	12	0	0
	NI	1	14	32	0
	PESCER	1	26	12	2
Total		59	930	252	165
			1,182		

Fuente: Elaboración propia (2025)

La Tabla 9 y la Tabla 10 presentan las áreas en los edificios de profesores, con 150 áreas identificadas para el edificio D y 234 para el edificio E, completando un total de 384 áreas, donde aproximadamente el 95% son cubículos de profesores.

Para estos edificios, de igual forma existen casillas con la leyenda “NI” dado a que se desconoce el nombre oficial con el cual se les conoce. Por otro lado, en todas estas áreas de estudio se cuenta con un apagador al interior, motivo por el cual se desconoce el estado y el tipo de tecnología de las lámparas instaladas, dado a que como son cubículos de profesores, se cuenta con equipo de cómputo y objetos personales, factores que impiden el acceso para realizar el reconocimiento adecuado.

Sin embargo, se realizó un reconocimiento en algunos de los cubículos en los cuales se tuvo acceso, realizando un estimado en el total de las áreas, ya que todas coinciden en dimensiones y en el número de luminarias. Estas áreas analizadas mantienen 4 lámparas fluorescentes con un atenuador funcional instalado en su apagador, completando un total de 1,536 lámparas en todos los cubículos de profesores. Durante la identificación y reconocimiento de las áreas, como caso específico el cubículo D248 donde se permitió el acceso, se observó mantiene dos luminarias con lámparas fluorescentes, sin embargo, una funciona y la otra no.

Tabla 9. Áreas de estudio del edificio D

Ubicación	Actividad	Cantidad	Tipo de Lámpara		Lámpara SOC
			Fluo.	LED	
PB	Repres. Sind. SLT	1	4	0	0
	Lab. Narrativas	1	4	0	0
	Cubículo	48	192	0	0
1er Nivel	Dpto. Ing. Eléctr.	1	4	0	0
	Obs. Soc. Ote.	1	4	0	0
	Cubículo	48	192	0	0
2do Nivel	NI	1	4	0	0
	Cs. PL. SLT	1	4	0	0
	Cubículo	48	192	0	1
Total		150	600	0	1

Fuente: Elaboración propia (2025)

Tabla 10. Áreas de estudio del edificio E

Ubicación	Actividad	Cantidad	Tipo de Lámpara		Lámpara SOC
			Fluo.	LED	
PB	Sptre. Téc.	1	4	0	0
	Serv. Social	1	4	0	0
	Cubículo	80	320	0	0
1er Nivel	Atención nutricional	1	4	0	0
	Obs. Soc. Ote.	1	4	0	0
	Radio	1	4	0	0
	Sala de lactancia	1	4	0	0
	Nut. y Salud	1	4	0	0
	NI	1	4	0	0
	Cubículo	64	256	0	0
2do Nivel	NI	1	4	0	0
	Com. e Info.	1	4	0	0
	Cubículo	80	320	0	0
Total		234	936	0	0

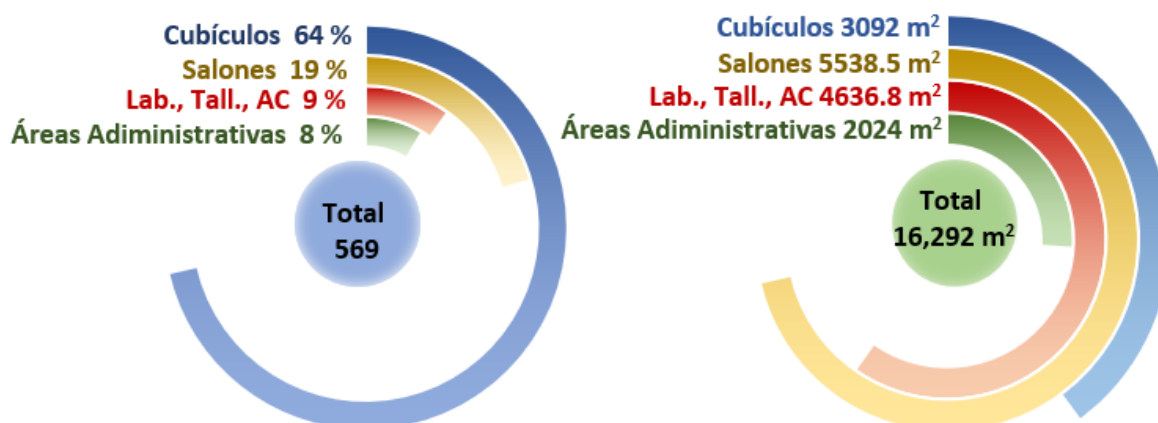
Fuente: Elaboración propia (2025)

Respecto a la información anterior, las áreas de estudio se englobaron en 4 grupos con el propósito de realizar la suma de los espacios independientemente del edificio y el nivel donde se encuentren ubicados y conocer qué porcentaje en cantidad presentan las áreas del total de los edificios destinada a cada actividad, coincidiendo con el nivel de iluminación referenciado en la norma que posteriormente será mencionada.

El porcentaje de los grupos realizados se muestran en la Gráfica 2, donde se observa que la mayor parte hablando en cantidades de áreas es destinada a los cubículos de profesores con el 64%, seguido de los salones con el 19%. A los laboratorios, talleres y aulas de cómputo les corresponde el 9% del total de los espacios en los edificios de estudio y finalmente a las áreas administrativas las representan 8% donde desempeñan sus tareas el personal de oficina, personal de apoyo y auxiliares.

No obstante, en la misma Gráfica (Gráfica 2), se muestra que la mayor cantidad expresado en superficie les corresponde a los salones, siendo estos la mayor área destinada a esta

actividad; seguido de los laboratorios, talleres y aulas de cómputo. Continuando con los cubículos de profesores, ubicados en los edificios D y E; y por último se encuentran las áreas administrativas, destinadas para que el personal administrativo del Plantel desarrolle sus actividades.



Gráfica 2. Distribución de las zonas de trabajo por actividad y por superficie, en los edificios SLT de la UACM

Fuente: Elaboración propia (2025)

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

En este apartado, se lleva a cabo el censo de la potencia total instalada en el sistema de iluminación de las áreas identificadas objeto de estudio en los edificios A, B, C, D y E del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, con la finalidad de realizar el cálculo estimado del consumo de energía por las luminarias de la institución. Dicho cálculo se llevó a cabo con la potencia nominal de las lámparas de cada tecnología tomando en consideración que todas las lámparas se encuentran en operación, es decir, en funcionamiento.

El actual sistema de iluminación en el Plantel San Lorenzo Tezonco mantiene un plafón en la mayor parte de las áreas identificadas en los edificios A, B y C, quien tiene por función ser soporte de las luminarias que contiene las lámparas. Sin embargo, el 4to nivel de estos edificios no se cuenta con dicho plafón, por tanto, las luminarias se encuentran suspendidas aseguradas por dos cables desde el techo, lo mismo ocurre en el edificio de profesores

(edificio D y E), que, aunque se cuentan con el plafón, por lo menos una luminaria viene suspendida y asegurada desde el techo.

Cada luminaria está conformada por un par de lámparas las cuales funcionan al estar colocadas correctamente ya que se encuentran conectadas en serie, el número de luminarias en todas las áreas identificadas de la institución es de 2,739, obteniendo un total de 5,478 lámparas con ambas tecnologías.

Se realizó el cálculo de la energía consumida en el sistema de iluminación del con la potencia total instalada, haciendo un estimado en horas en las cuales las lámparas se encuentran en funcionamiento. A fin de agilizar el cálculo estimado de la energía consumida, se generaliza para todas las áreas de estudio identificadas, el mismo tiempo de operación en las lámparas, aunque se realicen diferentes actividades y algunas de ellas tengan un apagador sencillo o con atenuador.

Para poder llevar a cabo el censo de la energía consumida, es necesario proponer un horario de operación de las lámparas, para ello se tomó en cuenta una hora adicional antes y después donde el personal inicia y finaliza sus actividades. Es decir, una hora antes comienzo de la primera clase 6:00 am y una hora después al finalizar la última clase a las 11:00 pm para el caso de lunes a viernes.

En el caso de fines de semana o sábados y domingos, se propuso horario dividido en dos intervalos. El primero de 6:00 am a 8:00 am y el segundo de 7:00 pm a 11:00 pm, horarios donde escasea la luz natural y se encuentra oscuro. Es importante recalcar que el horario es estimado, dado a que con la modificación y al ya no considerar un horario de verano, puede que el día amanezca y se aclare incluso antes de las 7:00 am.

A manera de resumen los horarios quedan de la siguiente forma: de lunes a viernes de 6:00 am a 11:00 pm, mientras que sábados y domingos de 6:00 am a 8:00 am y de 7:00 pm a 11:00 pm. Como resultado, se tiene en cuenta que el sistema de iluminación se encuentra en

funcionamiento 97 horas por semana, completando 388 horas al mes en que las lámparas están en operación.

El cálculo se hará de forma individual con ambas tecnologías, es decir, con el número de luminarias que mantiene lámparas fluorescentes y luminarias con lámparas LED, dando una breve descripción de las características técnicas adquiridas de las hojas de datos de cada tecnología correspondiente, la información completa acerca de cada lámpara se encuentra en la parte de anexos donde se incluyen sus fichas técnicas (Anexo 1).

Las lámparas fluorescentes, son marca Phillips modelo F32T8-TL841. Para poder entender mejor la nomenclatura, se realizará una pequeña explicación acerca del código. La primera letra F se refiere a que es una lámpara fluorescente, los siguientes dos números 32 hace referencia a la potencia nominal, lo que quiere decir es que es de 32 W; la letra T señala que se trata de una lámpara tipo tubo y el número indica el diámetro del mismo medido en octavos de pulgada, 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

Para el funcionamiento de las lámparas fluorescentes es necesario de elementos auxiliares como un balastro, los balastros utilizados para el funcionamiento de las lámparas fluorescentes instaladas en los edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco se muestran en la Figura 13, donde se tiene el conocimiento de tres modelos de marcas diferentes. Para conocer la potencia de entrada requerida de las luminarias es necesario conocer que se trata de un balastro electrónico atenuable de 2x32W T8 y con el catálogo de balastros de marco LUTRON, se obtuvo que la entrada requerida para las dos lámparas y el balastro es de 66.5 W (Anexo 2).



*Figura 13. Modelos de Balastos instalados en el sistema fluorescente del edificio A
Fuente: (PEUACM, 2009)*

Por su parte, las lámparas LED tipo T8 Mains modelo Lighting marca Philips, fueron diseñadas con el propósito de ser la sustitución de lámparas fluorescentes con las mismas características físicas, hablando en dimensiones. Al realizar la transición de tecnología en las luminarias del sistema de iluminación, también se presentan ahorro en la energía consumida derivado a que necesita menos potencia de entrada y no necesita de elementos auxiliares como el balastro el cual también presenta un consumo adicional. La potencia nominal de las lámparas LED por luminaria es de 36 W; algunas de sus características técnicas son:

- Vida útil (nominal) 30,000 horas
- Flujo luminoso (nominal) 2,100 lm
- Temperatura de color 4000 K (Blanco Frio)
- Potencia (nominal) 18 W

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 34,471 kWh/mes, durante las horas en operación en un mes; mientras que, con lámparas LED se presentó un consumo de energía carga instalada de 19,597 kWh/mes, alcanzando un consumo de energía total de 54,068 kWh/mes, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Energía consumida con lámparas en los edificios de Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM

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	1,336	388	34,471
Luminaria con 2 lámparas LED T8 de 18 W	36	1,403	388	19,597
Total		2,739	388	54,068

Fuente: Elaboración propia (2025)

3.3. Niveles de iluminación requeridos para los edificios de la UACM

Una vez identificadas y conociendo las actividades que se realizan en el interior de las áreas de los edificios objeto de estudio del Plantel San Lorenzo Tezonco, en esta sección se proporcionará la información respecto a la cantidad de iluminación necesaria en las áreas analizadas de la Universidad conforme a la actividad que se lleva a cabo en su interior, referenciando la vigente normativa oficial mexicana NOM-025-STPS-2008.

En la Tabla 12, se presenta un fragmento de la tabla de norma, donde se observa únicamente el nivel de iluminación para los espacios de interés expresado en luxes, el área de trabajo donde se desempeñan y las tareas o el trabajo visual que se realiza.

Tabla 12. Niveles de Iluminación mínimos requeridos para los edificios de la UACM

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	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.		

Fuente: Con información de la NOM-025-STPS-2008. Elaboración propia

La información completa del listado de la norma oficial mexicana con todas las áreas que contempla se encuentra en la parte de los anexos (Anexo 3). Por otra parte, de la Gráfica 2 anteriormente mencionada, las áreas de estudio se englobaron en 4 grupos análogamente como se realizó en la preevaluación, obteniendo coincidencia con los niveles de iluminación conforme a la tarea visual que desempeña en su interior.

En la Tabla 13 se presenta la totalidad de los espacios de estudio agrupados según lo expuesto, donde se muestran las áreas de trabajo, actividad que se realiza en su interior y el nivel de iluminación mínimo necesario conforme lo indica la normativa.

Tabla 13. Niveles de iluminación por área de trabajo para los edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM

Área de Trabajo	Actividad que se realiza	Iluminancia Mínima (luxes)
Aulas	• Salones.	300
Aulas de profesores	• Cubículos.	300
Áreas administrativas	• Registro escolar, • Aula de titulación, • Servicio médico, • Aulas multimedia, • Sala de juntas, • Almacenes, • Área enlace administrativo, • Venta de boletos, • Difusión cultural, • Certificación y registro,	300

Área de Trabajo	Actividad que se realiza	Iluminancia Mínima (luxes)
	• Obras y conservación, • Programa de Energía, • Centro de estudios de la ciudad, • Representación sindical SLT, • Dpto. de Ingeniería Eléctrica, • Observatorio social oriente, • Consejo del plantel, • Servicio social, • Atención nutricional, • Radio, • Nutrición y Salud, • Sala de lactancia y • Comunicación e información.	
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, • Talleres de Letras Habladas, • Taller de danza, • Taller de artes populares, • Taller tatami, • Taller – Salón, • Lab. Modelación Matemática, • Lab. Redes computacionales, • Lab. Prácticas de medios, • Lab. Sistemas de potencia, • Lab. Fotografía, • LACECI, • Lab. Robótica y automatización,	500

Área de Trabajo	Actividad que se realiza	Iluminancia Mínima (luxes)
	• Lab. Control instrumental, • Lab. Narrativa sonora y • Biblioteca (zona de lectura).	

Fuente: Con información de la NOM-025-STPS-2008. Elaboración propia.

Resumiendo, la tabla anterior (Tabla 12), los niveles mínimos adecuados para realizar actividades en el interior de las áreas con una buena iluminación de acuerdo a la norma son: 300 lux para salones, cubículos de profesores y áreas administrativas y 500 lux para el caso de laboratorios, talleres, aulas de cómputo y la biblioteca en la zona de lectura.

3.3.1. Método para evaluar los niveles de iluminación

Con la información recopilada durante la identificación y el reconocimiento de las áreas de estudio, en esta sección se dará a conocer el número de mediciones y su ubicación para evaluar correctamente los niveles promedio de iluminación. En el apéndice A de la NOM-025-STPS-2008, se encuentra el paso a paso a seguir utilizando las dimensiones del área de estudio y la altura de las luminarias (*Ec. (5)*), obteniendo el índice de área (*IC*).

Conociendo el rango donde se encuentre el *IC*, se puede establecer el número de mediciones mínimo o a considerar dependiendo de dos casos posibles, la columna A para casos donde no hay coincidencia con el flujo luminoso de fuente de iluminación siendo el mínimo de puntos a evaluar o la columna B si existe alguna coincidencia que influya con la lectura de las mediciones, en otras palabras, si se está muy cerca de una lámpara o se encuentra debajo de la misma (véase en la Tabla 14).

Tabla 14. 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: Con información de la NOM-025-STPS-2008. Elaboración propia

El IC se determina mediante la ecuación (Ec. (5)):

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

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.

A fin de conseguir el número necesario de mediciones, se utilizó un distanciómetro digital para obtener las dimensiones de cada área de estudio de los edificios del plantel. Los valores obtenidos de IC son diferentes, dado a que las superficies son distintas en las diferentes áreas, sin embargo, la altura de las luminarias coincide con un valor de 2.7 metros.

Para el caso de salones, se obtuvo un promedio de sus dimensiones con 5.5 m de largo y 9.5 m de ancho, información necesaria para calcular el índice de área y el número pertinente para la toma de mediciones. Al sustituir los valores de las medidas en los salones de clase en la ecuación 5, se obtiene:

$$IC = \frac{(5.5)(9.5)}{1.9(5.5 + 9.5)} = 1.83$$

Ilustrando como se llevó a cabo el procedimiento para evaluar los niveles de iluminación, en sentido del número y ubicación, la Figura 14 muestra la distribución de las luminarias y de las zonas donde se tomaron las mediciones en salones, resaltadas en puntos de color rojo, tomando en cuenta el *IC* obtenido y la columna B de la Tabla 14, a fin de no coincidir con las lámparas, con un total de 12 mediciones.

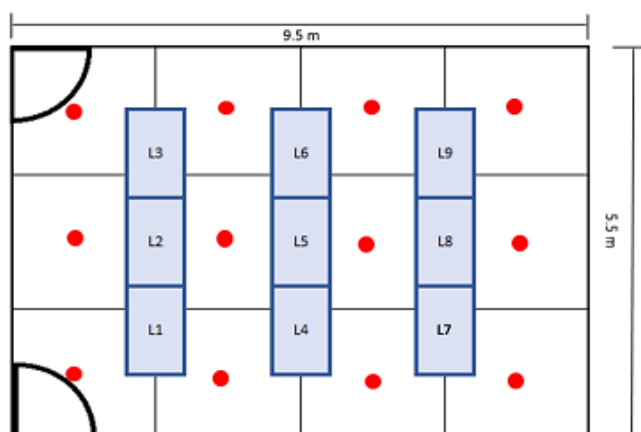


Figura 14. Distribución de luminarias y puntos de medición final en salones

Fuente: (Romero, 2022)

En los edificios A, B y C del plantel, existen áreas con dimensiones diferentes, como es el caso de los laboratorios ubicados en 4to nivel, los cuales toman un valor diferente de *IC*, tal y como se observa en la Figura 15, que al igual que los salones resalta los puntos con rojo en las zonas donde se realizaron las mediciones, donde no hay coincidencia con la distribución de las luminarias y un total de 16 mediciones.

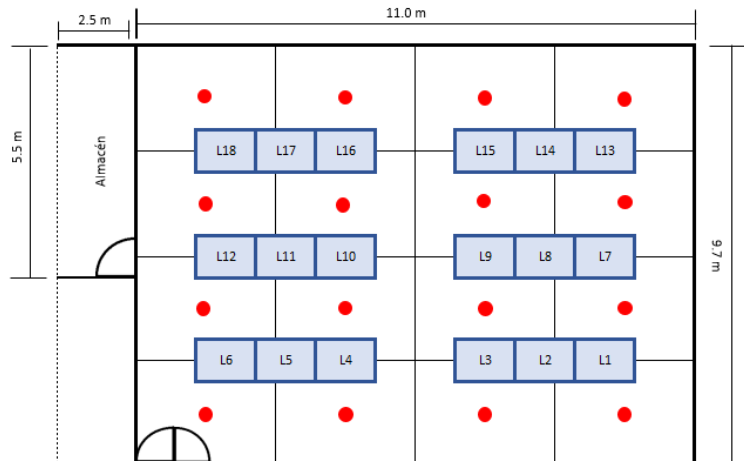


Figura 15. Distribución de luminarias y puntos para los laboratorios

Fuente: (Romero, 2022)

Durante el reconocimiento e identificación de áreas, se encontró similitud en dimensiones geométricas y coincidencia en la distribución de luminarias, así como en la altura de las mismas, por lo que las mediciones se realizaron de la misma forma como se ilustra en las Figura 14 y 15, salones y laboratorios respectivamente.

El 2% de las áreas de estudio mantienen una configuración, número de luminarias y/o dimensiones distintas, las cuales se consideraron como casos específicos, donde se realizaron un menor o mayor número de mediciones según fuese necesario. Por ejemplo, en la biblioteca se llevaron a cabo 78 mediciones debido a sus dimensiones. Algunas de las áreas con una configuración diferente son: el área de registro escolar, los laboratorios de auto acceso, el área administrativa, cafetería, aula de titulación, almacenes, entre otras.

En la Tabla 15 se muestran los índices de áreas obtenidos de diferentes espacios los cuales presentan una similitud en dimensiones y distribución en luminarias, estas áreas conforman el 98% del total en todos los edificios.

Tabla 15. Índice de área en relación a las dimensiones de las áreas de los edificios del Plantel San Lorenzo de la UACM

Tipo de áreas	IC obtenido	Número de mediciones
Salones, Aulas de Cómputo y Áreas Administrativas	1.8	12
Cubículos	0.98	6
Laboratorios y Aulas multimedia	2.1	16

Fuente: Elaboración propia (2025)

Para poder realizar un diseño de iluminación, es de suma importancia determinar el factor de reflexión en el plano de trabajo y paredes que por su cercanía al usuario afecten las condiciones de iluminación, según lo establecido en la NOM-025-STPS-2008 en el Apéndice B, comparándolo con los niveles máximos permisibles del factor de reflexión de la Tabla 16.

Tabla 16. Niveles máximos permisibles del factor de reflexión

Concepto	Niveles máximos permisibles de reflexión, Kf
Paredes	60%
Plano de trabajo	50%

Fuente: Con información de la NOM-025-STPS-2008. Elaboración propia

La evaluación del factor de reflexión de superficies en áreas y puestos de trabajo seleccionados, los puntos de medición deben ser los mismos que se establecen en la normativa Apéndice A.

El cálculo del factor de reflexión de las superficies, se determinada mediante ecuación (Ec. (6)):

$$Kf = \frac{E1}{E2} (100) \quad Ec. (6)$$

Donde:

$E1$ es la primera medición, con la fotocelda del luxómetro colocada de cara a la superficie a una distancia de $10\text{ cm} \pm 2\text{ cm}$, hasta que la lectura permanezca constante.

$E2$ es la segunda medición, se realiza con la fotocelda orientada en sentido contrario y apoyada en la superficie, con el fin de medir la luz que incide de la fuente, y

Kf es el factor de reflexión de la superficie.

Las mediciones de iluminación se llevaron a cabo con la ayuda de un luxómetro, herramienta diseñada para tomar lectura de flujo luminoso en una determinada superficie, es decir, mide cuanta luz hay en un determinado espacio. El luxómetro utilizado durante este análisis se puede observar en la Figura 16, el cual es de la marca AMPROBE LM-200LED.



Figura 16. Características del Luxómetro utilizado
Fuente: (AMPROBE, 2015)

A continuación, se presentan las partes del luxómetro, enumeradas en relación a la información obtenida del manual de usuario:

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 se llevaron durante la noche cuando ya no incide la iluminación natural, buscando tomar lecturas en momentos críticos como recomendación de la normativa nacional vigente, basado en el procedimiento de índice de área descrita en el apéndice A de la misma norma.

Capítulo IV. Desarrollo

El objetivo principal de este proyecto es realizar un diseño del sistema de iluminación que mantenga una iluminación adecuada en las áreas de estudio Plantel San Lorenzo Tezonco mediante el software DIALux evo, evaluando el cumplimiento de la NOM-025-STPS-2008. Por lo tanto, en esta sección se presentan los niveles de iluminación obtenidos durante el censo, la verificación de simulador con mediciones reales, a fin de modificar el sistema de iluminación actual, buscando mejorar la iluminación.

4.1. Nivel de iluminación

El censo de las mediciones de los niveles de iluminación inició con las áreas de fácil acceso, es decir, con las que ya se encontraban abiertas, como las aulas de clase. Continuando con áreas como laboratorios, áreas administrativas y cubículos de profesores, donde al haber alguien desempeñando sus actividades pertinentes, se permitía el acceso para la toma de mediciones. Finalizando así, con las áreas donde se tuvo que solicitar el acceso para hacer realizar el análisis, apoyado del personal de la institución (enlaces administrativo o policías) encargados de las llaves, como en las aulas multimedia, aulas de cómputo, laboratorios y talleres.

El procedimiento para llevar a cabo la correcta evaluación y medición de los niveles de iluminación, se encuentra descrita en la metodología de este proyecto, donde se establece el número de mediciones y su ubicación para cada área de estudio, utilizando como herramienta un luxómetro a una altura aproximada de trabajo de 80 centímetros. Los valores censados en luxes, fueron recopilados en una base de datos para determinar el valor promedio de las mediciones analizadas de forma individual como lo recomienda la norma.

Los niveles de iluminación serán presentados de forma más detallada en los siguientes apartados, donde se podrá observar la cantidad de iluminación de cada área censada; sin embargo, es preciso enfatizar que ninguno de los espacios cumple con los niveles de iluminación que establece la NOM-025-STPS-2008 como el mínimo, de acuerdo a diversos factores.

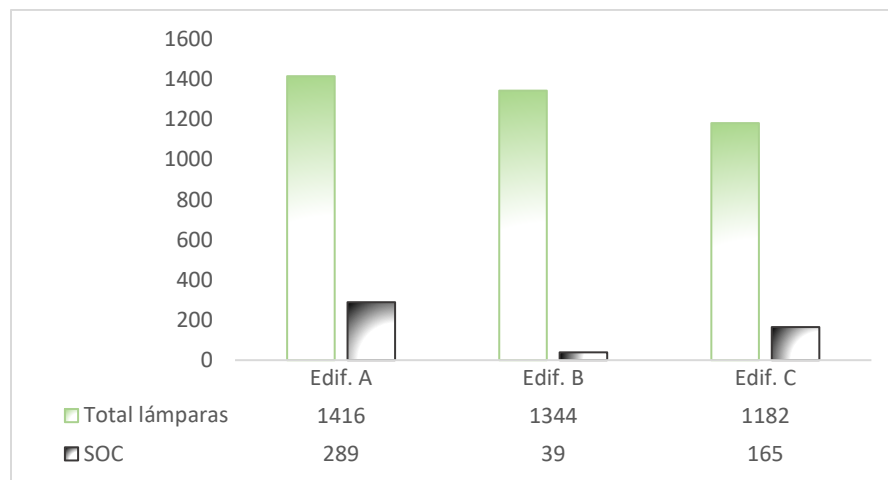
Una de las causas por las cuales no se cuenta con una correcta iluminación, es porque las lámparas instaladas se encuentran sin operar de forma correcta. Todos los edificios presentan este inconveniente, sin embargo, en donde es más notorio, es en los edificios A, B y C, ya que son los que mantienen el mayor número de lámparas sin operar correctamente (SOC), es decir, se encuentran totalmente apagadas o sin operar de forma adecuada pues las lámparas LED dejan de funcionar gradualmente en relación con el tiempo de funcionamiento, como se observa en la Figura 17.



Figura 17. Luminaria con lámpara sin operar correctamente

Fuente: Elaboración propia (2025)

En la Grafica 3 se muestra el número aproximado de lámparas del total de las áreas de los edificios mencionados, donde es más evidente que el sistema de iluminación mantenga lámparas con las características de SOC, información que se puede corroborar en la sección 3.1 de este proyecto, donde se realizó la identificación y reconocimiento de las áreas de estudio.



Gráfica 3. Total de lámparas y número de lámparas sin operar correctamente

Fuente: Elaboración propia (2025)

Es imprescindible suponer que las lámparas que presenten este inconveniente, está directamente relacionado con el tiempo de funcionamiento, motivo por el cual, el edificio A presenta el mayor número con lámparas SOC, ya que fue el edificio donde se inició la transición de tecnología en las luminarias del sistema de iluminación en el año 2022 por el programa de optimización del sistema de iluminación del Plantel a cargo del PEUACM.

De los resultados positivos obtenidos de este proyecto piloto en el edificio A, el edificio B, también ya presenta la transición de tecnología en el sistema de iluminación, pero como la sustitución de lámparas se llevó a cabo recientemente, la cantidad de lámparas SOC es muy pequeña.

Sin embargo, la sustitución de lámparas en el resto de los edificios es de manera paulatina, ya que el reemplazo de lámparas fluorescentes por LED se realiza en cuanto las primeras dejan de funcionar, particularidad que puede observarse con claridad en el edificio C.

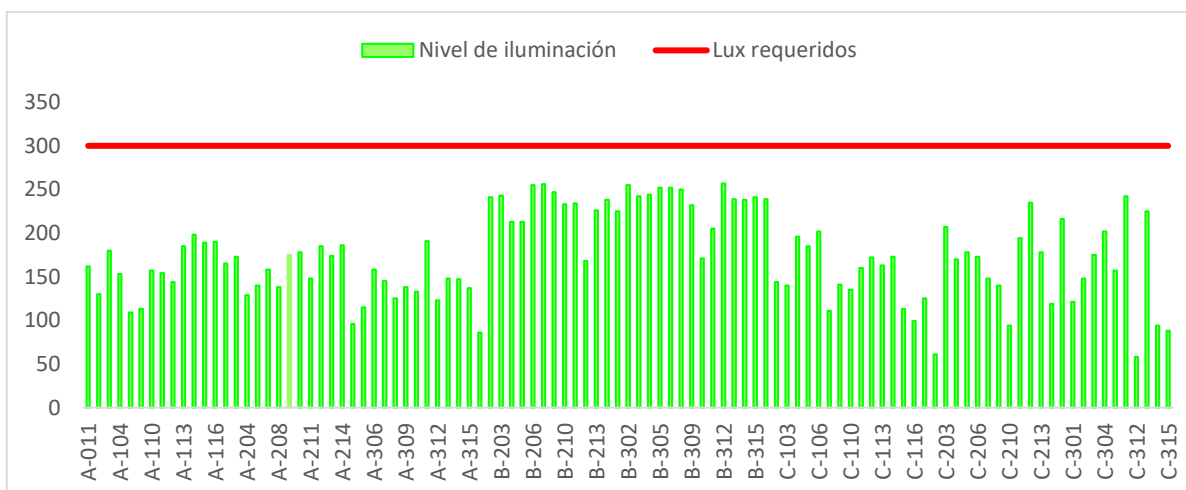
Como se expuso previamente, además de las lámparas SOC, existen áreas donde aún no se ha llevado a cabo la transición de tecnología o reemplazo de lámparas, motivo por el cual las áreas no alcanzan los niveles de iluminación. Cabe resaltar que, existen elementos, como el factor de mantenimiento o utilización que van relacionados directamente con el flujo e

intensidad luminosa y la degradación natural de cada lámpara por el tiempo en operación, causas que impiden una buena iluminación en las áreas de trabajo.

A continuación, se presentan los niveles de iluminación de las áreas analizadas de manera en las que fueron agrupadas, de acuerdo al nivel de iluminación necesario para una correcta iluminación. Iniciando con aulas de clase, seguido de las áreas administrativas, continuando con los cubículos de profesores y finalizando con las aulas de cómputo, talleres, biblioteca (zona de lectura) y laboratorios.

4.1.1. Nivel de iluminación en aulas

En la Gráfica 4 se presentan las mediciones de los niveles de iluminación promedio obtenidos en cada uno de los salones del edificio A, B y C. La línea horizontal resaltada en color rojo, indica el valor mínimo establecido por la norma como la iluminación adecuada de acuerdo a la actividad que realiza, con un valor de 300 lux.



Gráfica 4. Nivel de iluminación en salones de los edificios A, B y C de la UACM

Fuente: Elaboración propia (2025)

Las mediciones de los salones se llevaron a cabo en el 97% del total, es decir, en 103 de los 106 identificados, los cuales oscilan entre 58 lux y 252 lux, nivel promedio obtenido de las

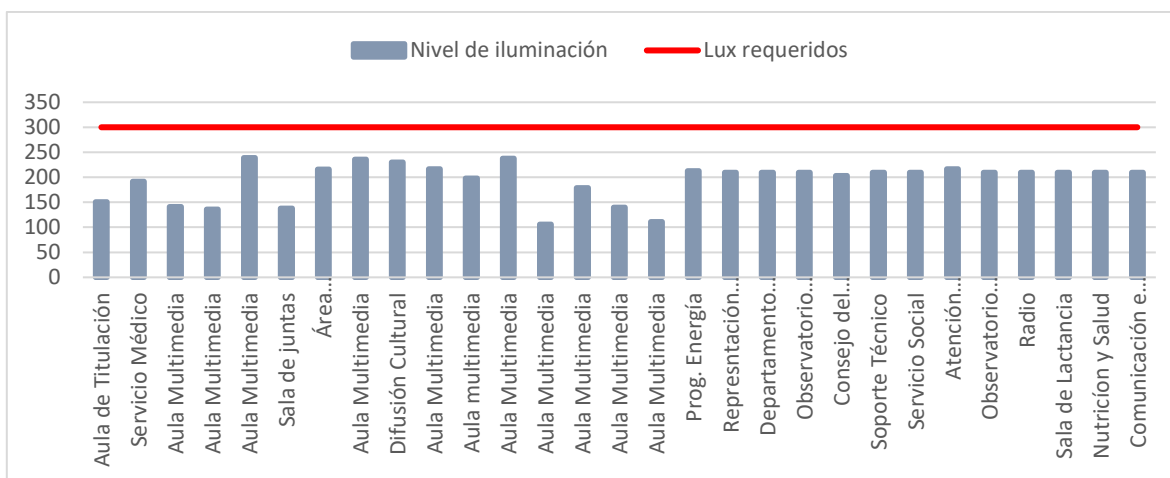
lecturas de iluminancia mínimo y máximo respectivamente, con un promedio de los promedios de 175 lux todos los salones censados estando por debajo de la norma en 42%.

En la Grafica 4, puede apreciarse claramente que ninguno de los salones alcanza los niveles de iluminación mínimos requeridos establecidos por la norma. Asimismo, es notorio observar, cómo los niveles de iluminación varían de acuerdo al edificio donde se tomaron las mediciones, dado a que la sustitución de lámparas no se lleva a cabo de forma continua. Siendo el edificio B quien tiene la mejor iluminación en comparación con los edificios A y C, dado a que la transición de tecnología se efectuó recientemente en más del 85% de luminarias del sistema de iluminación.

El edificio A es quien mantiene el mayor número de lámparas SOC, lo que hace que presente bajos niveles de iluminación en salones, además, de la degradación gradual por el tiempo de funcionamiento. Y finalmente, el edificio C quien actualmente presenta la característica de tener combinación de tecnología en sus luminarias, pues como se mencionó el reemplazo es de forma paulatina, cambiando lámparas fluorescentes por LED en cuanto van dejando de funcionar.

4.1.2. Nivel de iluminación en áreas administrativas

El número de áreas administrativas donde se llevaron a cabo las mediciones son 30 de las 44 identificadas en los edificios del plantel, representando el 70% de los espacios, la Grafica 5 muestra los resultados de los promedios de los niveles de iluminación, donde la cantidad de iluminancia requerida por la norma debido a las tareas visuales que se desarrollan en el interior de ellas es de 300 lux, resaltada con una línea roja.



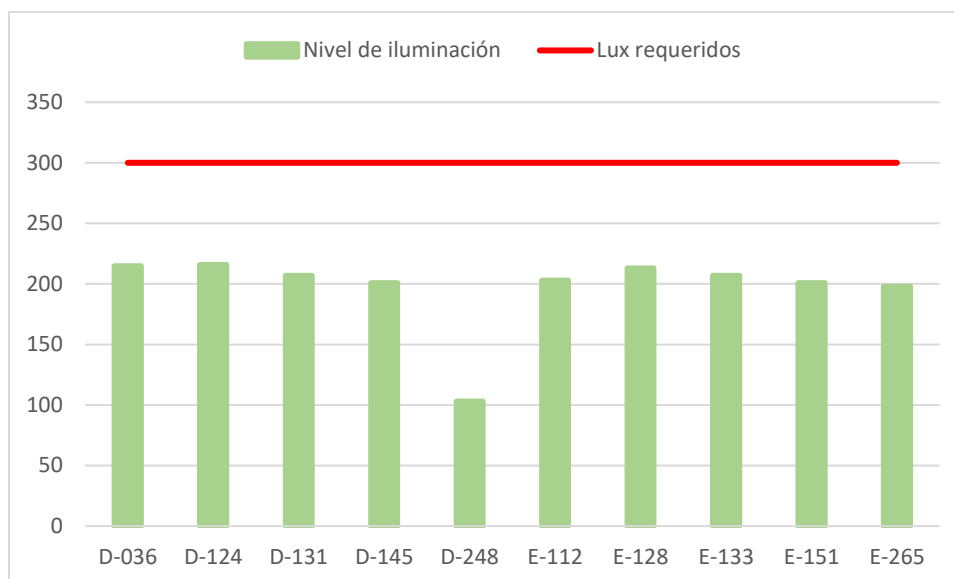
Gráfica 5. Niveles de iluminación en áreas administrativas en los edificios UACM

Fuente: Elaboración propia (2025)

El análisis de los niveles de iluminación de las áreas administrativas (Gráfica 5), permite apreciar que presenta un comportamiento irregular, lo cual va en relación, a que cada área tiene tanto, dimensiones geométricas, número de luminarias y configuración distinta. No obstante, es evidente que ninguna de estas áreas cumple con los niveles de iluminación de la NOM-025-STPS-2008. El nivel promedio general de iluminación de estas áreas es de 194 lux, estando por debajo de la norma en un 34%.

4.1.3. Nivel de iluminación en cubículos

Los niveles de iluminación en los cubículos en los edificios D y E se pueden observar en la Grafica 6, en donde la cantidad establecida para estas áreas de acuerdo a la actividad que realiza (línea roja) es la misma que para aulas y áreas administrativas (300 lux).



Gráfica 6. Nivel de iluminación en cubículos de los edificios D y E de la UACM

Fuente: Elaboración propia (2025)

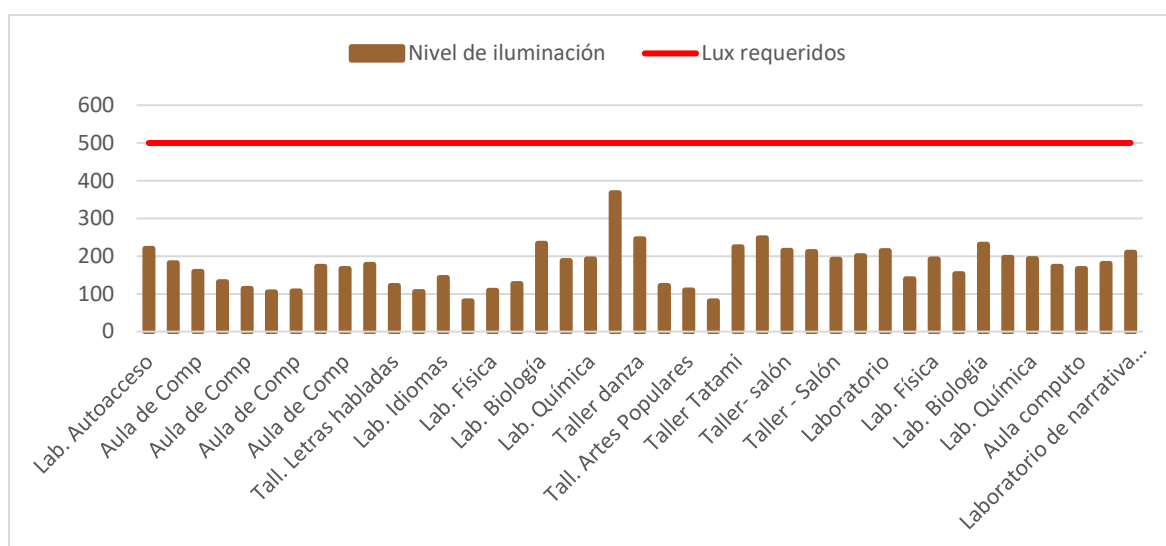
El análisis de la iluminancia en cubículos de profesores (Gráfica 6), se llevó a cabo solo en 10 de los 368 identificados, debido a que en el interior de estos espacios hay equipo de cómputo y objetos personales, el acceso fue limitado. La lectura de mediciones en los cubículos que se muestran fue con autorización por el profesor o personal con acceso a cargo del cubículo, siendo pocos los espacios medidos, dado que censo se realizó en un horario nocturno y la mayoría de los docentes no trabajan con este horario.

En el caso específico del cubículo D-248, donde se permitió realizar el censo de iluminación, se detectó que una luminaria no se encuentra en funcionamiento, por lo que su nivel de iluminación es de 103 lux, siendo el más bajo del resto.

Es preciso mencionar, que los cubículos mantienen tecnología fluorescente la cual se puede atenuar mediante un controlador instalado en su apagador. Las mediciones de iluminación se llevaron a cabo con el máximo flujo posible, siendo estos valores los censados y almacenados en la base de datos, representado en la Grafica 6.

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

La Gráfica 7 muestra los niveles promedio de iluminación obtenidos en laboratorios, talleres, aulas de cómputo y en la zona de lectura de la biblioteca, donde la línea roja indica el valor requerido por la norma de 500 luxes.



Gráfica 7. Nivel de iluminación en laboratorios, aulas de cómputo y talleres en los edificios de la UACM

Fuente: Elaboración propia (2025)

El análisis de estos espacios se realizó aproximadamente en el 80% del total donde se englobaron estas áreas de estudio, ya que como en los cubículos, el acceso fue limitado puesto que además de tener equipo de cómputo, realizan tareas específicas que requieren aparatos y materiales especiales que necesitan cuidado.

En una revisión de la Gráfica 7, es evidente que los niveles de iluminación obtenidos se encuentran por debajo de la norma. El nivel de iluminación promedio de todas las áreas es de 200 luxes, representando un 60% por debajo de la norma.

4.2. Verificación del software

A fin de realizar un buen diseño del sistema de iluminación que cumpla con los niveles de iluminación referenciados en la norma, se proyectaron en el simulador DIALux evo las áreas

de estudio, con el propósito de hacer la reproducción lo más cercano a la realidad, buscando coincidencias en los valores obtenidos durante el censo y los resultados simulados en tanto a los niveles de iluminación.

La verificación del software con las mediciones reales, se llevó a cabo la réplica de un salón de clases, área que estará sujeta a diversos cambios, dado a que se conocen sus dimensiones geométricas, el tipo de paredes, piso, techo, etc. Asimismo, la reproducción se realizó con lámparas LED, con las mismas características obtenidas de su ficha técnica, a la misma altura respecto al piso, su configuración y la cantidad, tal y como se observa en la Figura 18.



Figura 18. Reproducción de un salón en DIALux evo

Fuente: Elaboración propia (2025)

Al realizar la reproducción de las áreas en el simulador, no se pudo insertar la luminaria que contiene las lámparas, ya que como se mencionó, las luminarias vienen con la propuesta original del sistema de iluminación de la Universidad y están condicionadas al tipo de tecnología, motivo por el cual, el diseño con lámparas LED no cuenta con el gabinete, sin embargo, todas las demás características son iguales.

Una vez obtenidos los niveles de iluminación en las diferentes áreas de estudio, se efectuaron las mediciones para obtener los niveles de reflexión, basados en la metodología del apéndice

B de la NOM-025-STPS-2008, con el propósito de insertarlos en el software y hacer la reproducción lo más parecido a las mediciones reales y con ello validar los resultados.

En relación a lo anterior, los niveles de reflexión utilizados en el simulador DIALux evo para la representación de un salón de clases, se presenta en la Tabla 17, la cual muestra el grado de reflexión expresado en porcentaje y la descripción del material o elemento de construcción que son parte de estas áreas. Estos valores forman parte de las recomendaciones de la normativa mexicana vigente de iluminación, donde se utiliza el máximo permisible de 60% para paredes y 50% en el plano de trabajo, indicado en la Tabla 16.

Tabla 17. Materiales y grado de reflexión DIALux evo

Descripción de material	Grado de reflexión en %
Paredes (tabique blanco)	60%
Pared gris	53%
Castillo y trabes	43%
Piso	34%
Pizarrón	88%
Mesa	48%
Ventana	10%
Plafón	86%

Fuente: Elaboración propia (2025)

Además, solo se tomaron en cuenta salones que tuvieran instaladas lámparas LED y operando correctamente, en otras palabras, que todas se encontraran encendidas, los salones con lámparas SOC o con combinación de tecnología fueron descartados.

Los salones que cumplieron con estas características son: B305, B306 y B312, ubicados en el 3er nivel del edificio B, los cuales obtuvieron el nivel promedio de iluminación más alto. En la Tabla 18, se muestran el número de mediciones, el valor de las mismas y el promedio obtenido para cada salón.

Tabla 18. Nivel de iluminación en salones

No de mediciones	Nivel de iluminación en luxes		
	Ubicación de salones		
	B305	B306	B312
1	183	191	187
2	270	249	259
3	257	249	253
1	149	224	177
5	351	326	338
6	383	349	376
7	401	335	388
8	283	265	274
9	153	226	163
10	231	225	223
11	213	223	223
12	162	175	175
Promedio	251	253	254

Fuente: Elaboración propia (2025)

Los valores obtenidos en la Tabla 18, se incorporaron en el simulador en dos dimensiones (resaltados en la Figura 19 en color rojo), a fin de observar las coincidencias con el software y la evaluación real. El salón B306 se tomó como referencia para realizar la verificación, insertando las mediciones en la ubicación donde fueron efectuadas. Asimismo, se muestra el nivel de iluminación promedio en DIALux evo, en la parte derecha de dicha figura.

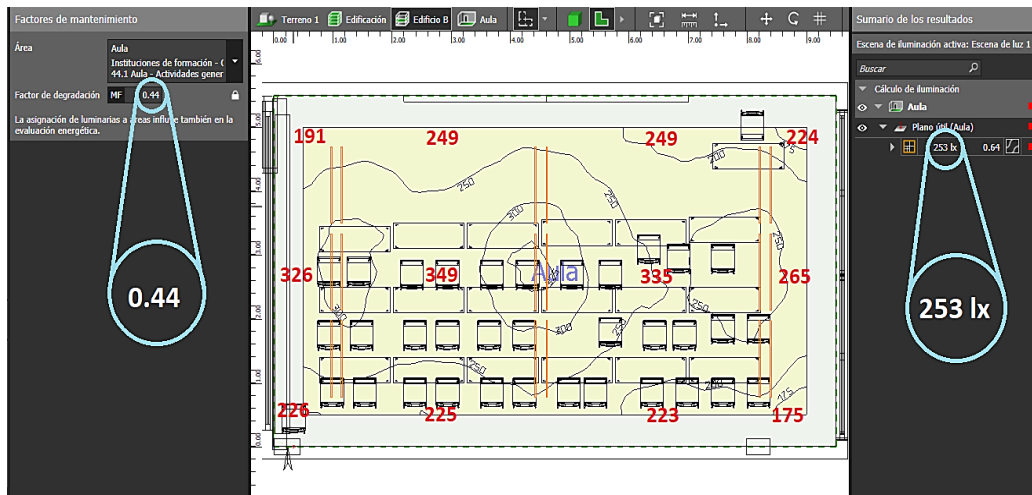


Figura 19. Verificación de software con mediciones reales

Fuente: Elaboración propia (2025)

A fin de obtener el mismo resultado de las mediciones reales con las del simulador, fue necesario modificar el factor de mantenimiento, el cual, al ser alterado, arroja distintos valores en los niveles de iluminación promedio como resultado, ya que este factor de mantenimiento está directamente relacionado con la disminución del flujo luminoso, por la depreciación gradual de la fuente de luz o por la suciedad del ambiente.

En la parte superior izquierda de la Figura 19, se muestra el valor del factor mantenimiento que tuvo lugar para que el resultado de las mediciones reales con el del simulador sea la misma. El valor de este factor es del 0.44, en otras palabras, el sistema de iluminación mantiene lámparas operando con un 44%.

De la Tabla 2 referente al capítulo II de este proyecto, se puede discernir que se encuentra en condiciones muy deplorables, dado a que el factor de mantenimiento encontrado es bastante bajo, motivo por el cual no alcanza los niveles de iluminación necesarios, sin embargo, la uniformidad de iluminación encontrada es bastante buena, al encontrarse por encima del 60%.

4.3. Modificación de la configuración de luminarias en el diseño de iluminación

Una vez verificado el software con mediciones reales, se inició con diseños en el simulador conservando la configuración actual del sistema de iluminación, colocando las luminarias a diferentes alturas, observando el comportamiento de los resultados en cuanto al nivel de iluminación y uniformidad, con el mismo factor de mantenimiento de 44%.

La Tabla 19 muestra, la variación del nivel de iluminación y la uniformidad, donde se puede apreciar que entre más alto se encuentran las lámparas, la uniformidad de iluminación mejora, no obstante, la cantidad de iluminación disminuye.

Tabla 19. Nivel de iluminación y uniformidad en DIALux evo a diferentes alturas

Factor de mantenimiento en %	Altura en metros	Nivel de iluminación en lux	Uniformidad en %
44%	2.7	253	64%
44%	2.75	252	66%
44%	2.8	251	66%
44%	2.85	250	66%
44%	2.9	249	66%
44%	2.95	246	67%
44%	2.98	240	68%

Fuente: Elaboración propia (2025)

Posteriormente, se realizó un diseño con las mismas características que conserva el sistema de iluminación con tecnología LED, es decir, la misma cantidad de lámparas y altura (2.7 metros), y el mismo factor de mantenimiento encontrado en la verificación del software, cambiando la configuración del sistema de iluminación, orientando las lámparas a otra dirección, como se observa en la Figura 20 resaltadas en color naranja, esperando que los niveles de iluminación mejoraran.

Sin embargo, se encontró que los resultados, son idénticos aun cambiando la orientación de las lámparas, donde el nivel de iluminación promedio es de 253 lux y una uniformidad del 64% (Véase la Figura 20).

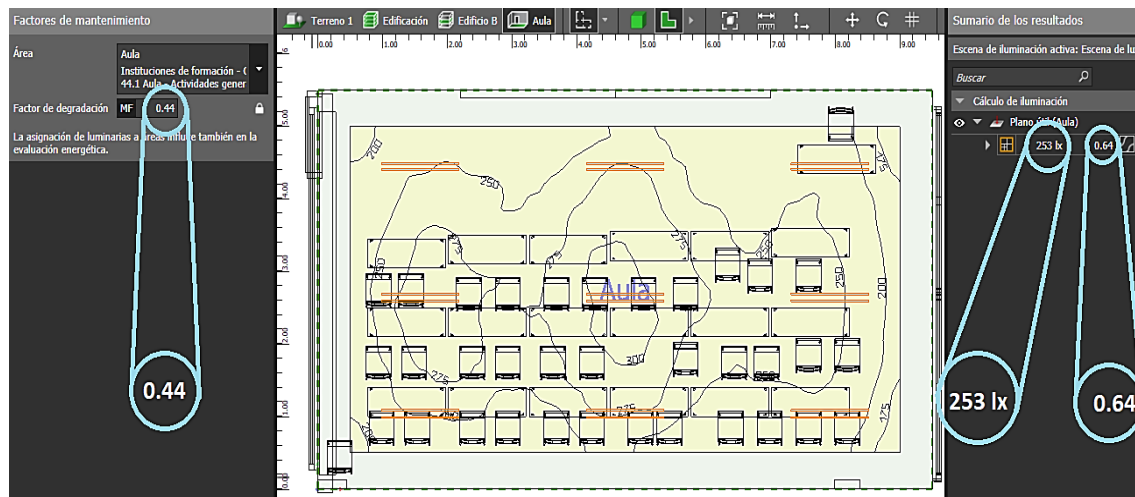


Figura 20. Diseño en DIALux evo de un salón cambiando la configuración del sistema de iluminación

Fuente: Elaboración propia (2025)

Además, de todas las ventajas mencionadas al utilizar el software, también existe la opción de indicarle al simulador que incorpore de forma automática la cantidad de lámparas necesarias para alcanzar el nivel de iluminación requerido dado el factor de mantenimiento encontrado en la verificación. Sin embargo, para alcanzar el nivel de iluminación referenciado por la norma es necesario una mayor cantidad de lámparas, donde se observaron más aspectos negativos que positivos, considerados relevantes los siguientes:

- Una mayor cantidad de lámparas trae consigo un incremento en el consumo energético.
- Las zonas dentro de las áreas que mejoran su iluminación son esquinas o sitios que no tienen gran importancia en el plano de trabajo.
- Ya que las luminarias son utilizadas comúnmente para el funcionamiento de las lámparas fluorescentes y no son parte del diseño replicado en el simulador, las lámparas LED son instaladas de forma individual.

A fin de alcanzar el nivel de iluminación ingresado en el software DIALux evo y utilizando la opción automática, los resultados son los que se buscaban, no obstante, la cantidad de lámparas es demasiada y se obtiene un nivel de iluminación sobrado. Por tal motivo, se

realizará el cálculo de iluminación por el método tradicional, buscando el mínimo de lámparas necesarias y con ello proponer un diseño eficiente que cumpla con lo establecido.

A continuación, se realiza el cálculo para obtener el mínimo de lámparas con una buena iluminación por el método lumen.

4.3.1. Método de cálculo para iluminación en interiores

Para el cálculo de iluminación en interiores, hay diferentes métodos, cada uno con sus ventajas y desventajas, siendo los más comunes: el método de cavidad zonal, el método de punto por punto y el método lumen, explicados brevemente a continuación.

El método de cavidad zonal determina el nivel de iluminación promedio en el interior de un área regular o específica. El método de punto por punto, basado en calcular el nivel de iluminación en todos los puntos del área de la zona que se desea iluminar. Y el método de lumen, el cual se encarga de proporcionar los lúmenes necesarios para la iluminación media, calculando el número de luminarias para iluminar correctamente un área deseada.

En este sentido, se utilizará el método de lumen, con el propósito de conocer la cantidad mínima de lámparas necesarias para un salón de clases. Iniciando con el cálculo del flujo luminoso con la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{\mathcal{E}m * S}{\mu * Fm} \quad Ec. (6)$$

Donde:

ϕ = al flujo luminoso en lumen.

$\mathcal{E}m$ = la cantidad de iluminación media en lux.

S = la superficie del área a iluminar en metros cuadrados (m²).

μ = al factor de utilización, y

Fm = al factor de mantenimiento.

Recapitulando, la información necesaria para el cálculo del número de luminarias en un salón con el Fm encontrado en la verificación del software, a manera de resumen se presenta en la Tabla 20. Donde se observa que el dato faltante solo es el factor de utilización (μ).

Tabla 20. Información para el cálculo del flujo luminoso

Datos	Valor
Iluminación promedio E_m	300 lux
Superficie S	52.25 m ²
Factor de mantenimiento Fm	0.44
Factor de utilización μ	---

Fuente: Elaboración propia (2025)

El valor de factor de utilización μ , se obtiene directamente de tablas (Tabla 4), sin embargo, para poder saber su valor, se debe conocer el factor de reflexión de los materiales y el índice de área o local, información indicada en Tabla 17 y el apartado 3.3.1 de este proyecto.

El valor tomado para el factor de utilización μ de tablas es de 0.79 y realizó mediante la interconexión de las reflectancias con el índice del área IC . Como se muestra en la Figura 21, al tomar un IC con un valor de 2 y reflectancias de 70%, 50% y 30%. Siendo los valores más cercanos a los obtenidos.

Índice de habitación	Reflectancias (%) para techo, paredes y plano de trabajo										
	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00
	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
0.60	0.42	0.40	0.40	0.39	0.38	0.31	0.29	0.25	0.28	0.24	0.20
0.80	0.51	0.48	0.49	0.48	0.47	0.39	0.37	0.32	0.35	0.30	0.26
1.00	0.60	0.55	0.57	0.55	0.53	0.46	0.43	0.38	0.41	0.36	0.32
1.25	0.67	0.62	0.65	0.62	0.60	0.52	0.49	0.44	0.46	0.42	0.37
1.50	0.74	0.67	0.70	0.67	0.65	0.57	0.54	0.49	0.51	0.47	0.41
2.00	0.83	0.74	0.79	0.75	0.72	0.65	0.62	0.57	0.58	0.54	0.48
2.50	0.90	0.79	0.85	0.81	0.77	0.71	0.67	0.62	0.63	0.59	0.53
3.00	0.94	0.83	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.67	0.66	0.63	0.57
4.00	1.01	0.87	0.96	0.90	0.84	0.80	0.75	0.72	0.71	0.68	0.62
5.00	1.05	0.90	1.00	0.93	0.87	0.83	0.79	0.76	0.74	0.71	0.65

Figura 21. Ejemplo de obtención del factor de utilización (Tabla 4)

Una vez con los datos necesarios, se sustituye en la *Ec. (6)*, como se muestra a continuación:

$$\Phi = \frac{300 * 52.25}{0.79 * 0.44} = 45,094.94 \text{ lm}$$

El número de lámparas se obtiene mediante la división del flujo luminoso obtenido y el flujo luminoso de la lámpara correspondiente. Para este caso, la lámpara LED descrita anteriormente, mantiene un flujo luminoso de 2100 lm, como se muestra en la siguiente expresión (*Ec. (7)*):

$$\text{Número de lámparas} = \frac{\Phi}{\text{flujo luminoso de la lámpara}} \quad \text{Ec. (7)}$$

Sustituyendo se obtiene:

$$\text{Número de lámparas} = \frac{45,094.94}{2100} = 21.47$$

Por lo tanto, para obtener un nivel de iluminación superior al necesario y cumplir con la norma, es necesario, por lo menos tener 22 lámparas LED. Una vez calculado el número mínimo de lámparas, el método completo de lumen proporciona la forma de poder distribuir las buscando una iluminación uniforme, con el número de lámparas a lo ancho y largo del área analizada, mediante las ecuaciones (*Ec. (8)* y *Ec. (9)*).

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{b}} * a \quad Ec. (8)$$

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{b}{a}\right) \quad Ec. (9)$$

Sin embargo, como se está realizando un diseño mediante el simulador DIALux, no es prescindible realizar el cálculo que nos indique como distribuir las lámparas, ya que el motivo principal, es conocer solo la cantidad mínima necesaria que supere los 300 lux requeridos para un salón.

La comprobación de la iluminación media se da a partir de la información obtenida, calculando la iluminación promedio con la ecuación (Ec. (10)), donde se obtiene un valor superior a los 300 lux.

$$Em = \frac{N_{total} * \text{flujo luminoso de la lámparas} * \mu * Fm}{S} \quad Ec. (10)$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$Em = \frac{22 * 2100 * 0.79 * 0.44}{52.25} = 307.3$$

Por otra parte, y de acuerdo con Romero (2022), en la preevaluación del sistema de iluminación en el edificio A del Plantel SLT, al realizar la transición de tecnología, más del 90% de los salones mantenían una iluminación mayor a la requerida con la norma, obteniendo un promedio general de 325 luxes. Razón por la cual, se llevó a cabo una vez más la verificación del software, buscando este nivel de iluminación, con la finalidad de conocer el factor de mantenimiento con el que iniciaron operación las lámparas LED.

En relación a lo anterior, para un nivel de iluminación promedio de 325 lux, se encontró que el factor de mantenimiento F_m con que operaba el sistema de iluminación seguido de la sustitución de lámparas es del solo el 57% como el valor más cercano, como se muestra en la Figura 22, demostrando que, desde su instalación las luminarias con lámparas LED mantenían un F_m muy bajo, referenciando la Tabla 2.

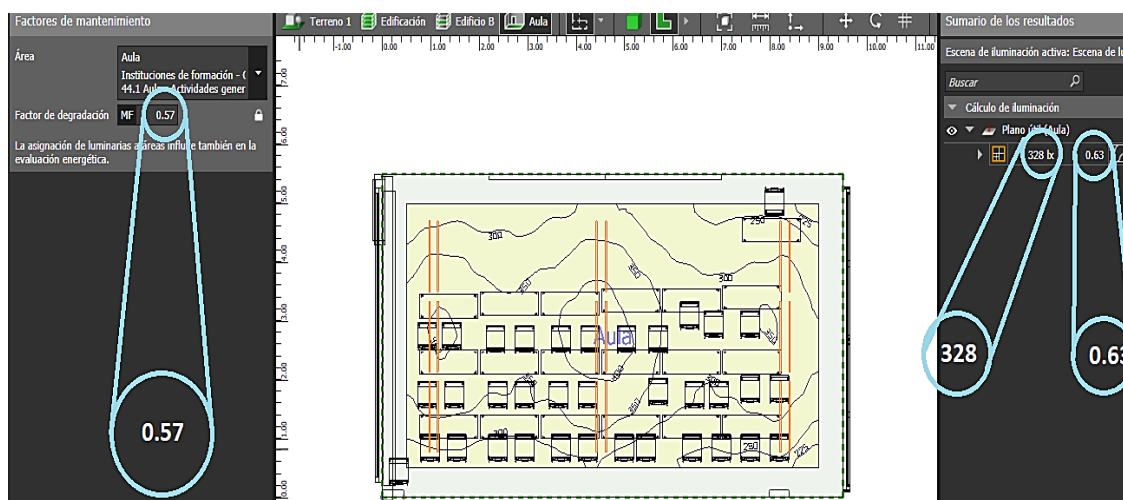


Figura 22. Verificación del software con 328 lux de iluminación promedio

Fuente: Elaboración propia (2025)

Una vez encontrado el F_m , con el que iniciaron operación las lámparas LED, se realizó el cálculo del mínimo de lámparas necesarias para un salón con las mismas condiciones, pero cambiando el F_m con un valor de 0.57. la Tabla 21, muestra en síntesis el cálculo del mínimo de lámparas por el método lumen con diferentes F_m , donde se observa con mayor claridad que mientras el F_m es mayor, el número de lámparas disminuye alcanzando el mismo valor de iluminación.

Tabla 21. Número de lámparas con diferentes valores de Fm

Factor de mantenimiento Fm	Número de lámparas	Iluminación promedio
0.44	22	307.3
0.57	17	307.6

Fuente: Elaboración propia (2025)

Por lo tanto, el Fm debe estar por encima del 50% para alcanzar el nivel de iluminación con la configuración y el número de lámparas que mantiene el sistema de iluminación, actualmente el Fm está por debajo de este valor, motivo por el cual no cumple con el nivel de iluminación requerido por la norma.

Como se mencionó, una de las soluciones es instalar una cantidad mayor lámparas, acción que más que aspectos positivos evidencia negativos, motivo por el cual, se llegó a la conclusión de realizar una propuesta con un diseño de iluminación con paneles LED, con la finalidad de alcanzar el cumplimiento de la norma con los niveles iluminación adecuados, al tiempo de disminuir el consumo energético.

Capítulo V. Análisis de resultados

En la presente evaluación se observó que las áreas de estudio no cuentan con la iluminación necesaria para el cumplimiento normativo, pues la configuración con las tecnologías que aloja el sistema de iluminación no es suficiente para la correcta iluminación. En este sentido, para alcanzar los niveles de iluminación, se deben incorporar una mayor cantidad de lámparas lo que trae consigo un incremento en el consumo energético.

Motivo por el cual, en esta sección se realiza una propuesta mediante DIALux evo con un panel de tecnología LED, buscando la instalación del mínimo de lámparas con el cumplimiento de la norma con los niveles de iluminación adecuados. Asimismo, se hace una estimación del ahorro de energía y económico, que se obtiene al remplazar las luminarias del sistema de iluminación actual por el tipo de luminaria sugerida.

5.1. Tecnología propuesta en el diseño de iluminación

Existen diversos factores y condiciones que se deben tomar en cuenta para obtener una buena iluminación, dentro de algunas que son fundamentales a considerar son:

- El correcto nivel de iluminación, relacionado directamente con las características de las áreas a iluminar y las actividades que se desarrollen en su interior.
- Una distribución apropiada de la luz, en otras palabras, una buena uniformidad.
- El tipo de fuente luminosa y los aparatos de iluminación.

De lo anterior, las luminarias que se proponen en este proyecto fueron seleccionadas basados en las características de las áreas de estudio y del sistema de iluminación de los edificios de la institución. Además, presentan un ahorro de energía y costo considerablemente bajo comparado con luminarias convencionales.

Por otra parte, también se consideró la forma en que las luminarias pueden ser instaladas, es decir, que cumpla principalmente con dos características de montaje, empotradas directamente del plafón o puedan colocarse suspendidas, ya que existen áreas que pueden

mantener esta combinación de montaje, como es el caso de las áreas que se encuentran en los edificios de profesores, donde una luminaria está suspendida del techo y la otra del plafón.

También existen áreas que, al no contar con la iluminación suficiente, mantienen lámparas adicionales que no forman parte del diseño y la configuración original del sistema de iluminación. Siendo el registro escolar ubicado en la planta baja del edificio A (A001) un caso específico (véase la Figura 23).

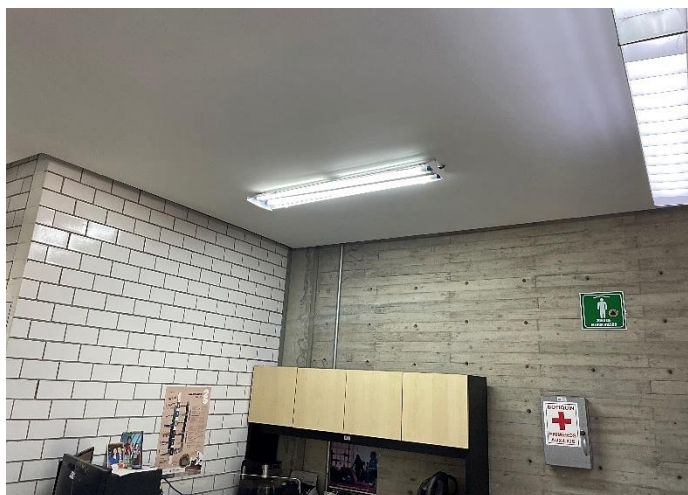


Figura 23. Luminaria adicional en Registro Escolar

Fuente: Elaboración propia (2025)

Actualmente empresas especializadas en iluminación se centran en la búsqueda de mejorar la eficacia lumínica de sus productos, aumentando el flujo luminoso con una menor potencia. L. J. Iluminación es una empresa 100% mexicana, dedicada al diseño, fabricación, integración y comercialización de equipos y sistemas de iluminación, que cuenta con una luminaria que cumple con las características para desarrollar la propuesta del sistema de iluminación.

A continuación, se presenta la luminaria seleccionada como propuesta.

5.1.1. PANLED3-36-ES-NW

Este panel de tecnología LED con código PANLED3-36-E5-NW, es utilizado comúnmente en oficinas, hospitales, escuelas, comercios y áreas abiertas en general, su nomenclatura indica lo siguiente: PANLED se refiere a una luminaria tipo Panel de LED de bajo peralte (sin tubos), el número 3 señala el tamaño de la luminaria (dimensiones 30.3 x 121.3 cm); el código E5 indica la tensión de operación de 100 a 240 volts. Finalmente, el código NW (*Natural White*), corresponde a la temperatura de color de 4000 K. De la ficha técnica (Anexo 4) se obtienen sus características principales:

- Flujo luminoso 4000 lm
- Temperatura de color 4000 K
- Potencia 40 W
- Índice de reproducción cromática ≥ 80
- Ángulo de apertura 120°
- Distorsión armónica $< 20\%$
- Tensión de operación 100 – 240 V (60 Hz), con driver integrado

Estas luminarias conservan los principios de la tecnología LED, es decir, el funcionamiento es el mismo, lo que las hace diferentes a los tubos LED es que viene integrado con su propio gabinete y difusor, presentando como ventaja un mejor nivel de uniformidad, menor consumo y mayor nivel de iluminación; además, la instalación es sencilla y su montaje puede ser empotrado al plafón, suspendido o sobrepuesto.



Figura 24. Luminaria PANLED3-36-ES-NW

Fuente: (L.J. iluminación , 2024)

Como se puede observar en la Figura 24, estas luminarias son buena opción para la iluminación general de salones, cubículos, laboratorios, talleres, aulas de cómputo y áreas administrativas, debido a que cuentan con un difusor de poliestireno opalino, el cual permite iluminar todo el lugar sin que existan zonas con poca iluminación, como sucede con las tecnologías actuales del sistema de iluminación.

5.2. Diseño de iluminación simulado en DIAULux evo

Para empezar con el desarrollo del diseño del sistema de iluminación en las áreas de los edificios de estudio, se dio a la tarea de encontrar similitud en sus características físicas (dimensiones) y el nivel de iluminación necesario de acuerdo a la actividad que se realiza en su interior, con el propósito de realizar un número determinado de diseños, cubriendo el total de las áreas.

Explicado con un ejemplo para un mejor entendimiento, el total de cubículos es de 368, sin embargo, solo se hará un diseño de un cubículo con el inmueble estándar, que bastará para generalizar todos los cubículos. Lo mismo para salones, laboratorios, aulas de cómputo, etc. Aunque la cantidad de áreas sea mayor a uno, se hará un diseño que satisfaga el nivel de iluminación de áreas que presenten coincidencias.

Existen muchas ventajas al utilizar el simulador, una de ellas es poder modificar o alterar distintas variables buscando que los niveles de iluminación aumenten. Una variable que puede ser cambiada para obtener mejores resultados en cuanto a la iluminación, es el factor de mantenimiento F_m , pues al otorgarle un valor más alto, los niveles de iluminación serán mayores como resultado.

Con el propósito de realizar un buen diseño de iluminación, se realizó la modificación del F_m , buscando tomar como valor crítico el F_m encontrado al realizar la transición de tecnología durante la preevaluación, al sustituir una tecnología por otra. El valor del F_m que se tomará para la simulación de los diseños de iluminación será de 57%.

Por tanto, la propuesta del diseño de iluminación en el simulador DIALux evo se llevará a cabo de acuerdo a la similitud de áreas y en los grupos que fueron englobados anteriormente. Sin embargo, el orden será distinto pensando en las áreas que se pueden englobar en un solo diseño, por consiguiente, se iniciara con salones, seguido de cubículos de profesores, talleres, laboratorios, aulas de cómputo y la biblioteca como tercer lugar y finalizando con áreas administrativas.

Es necesario enfatizar que, en las siguientes secciones se abordara a el diseño de todas las áreas de oportunidad. Sin embargo, se explicará de forma detallada la elección de altura y configuración solo de los salones, aclarando que las demás áreas se realizaron de la misma forma, buscando en todo momento la mejor cantidad de iluminación y uniformidad, modificando y ajustando la configuración de luminarias.

5.2.1. Simulación en salones

Una vez teniendo la réplica de uno de los salones, se inició cambiando las lámparas LED T8 por las luminarias PANLED3-36-E5-NW, respetando la configuración y altura actual, además, del Fm encontrado en la preevaluación ($Fm = 0.57$), se realizó el cálculo por el método lumen con el procedimiento indicado con anterioridad, con el objetivo de conocer la cantidad mínima de lámparas, obteniendo como resultado 9 lámparas o en este caso luminarias.

Al incorporar las luminarias en el simulador, con las características mencionas, los resultados encontrados fueron positivos en lo que respecta a la iluminación, teniendo una iluminación bastante sobrada, sin embargo, la uniformidad no es la que se busca en este proyecto, pues se encuentra por debajo del 50%.

En la Figura 25 se muestra resaltado en color azul, la configuración que actualmente tiene el sistema de iluminación en salones, asimismo, se observa el valor del Fm (lado izquierdo de la figura), el resultado del nivel promedio de iluminación y la uniformidad alcanzada (lado

derecho de la figura), resaltada en el interior de los círculos, donde se puede observar que, aunque el nivel de iluminación supera los 300 lux, el nivel de uniformidad no es el adecuado.

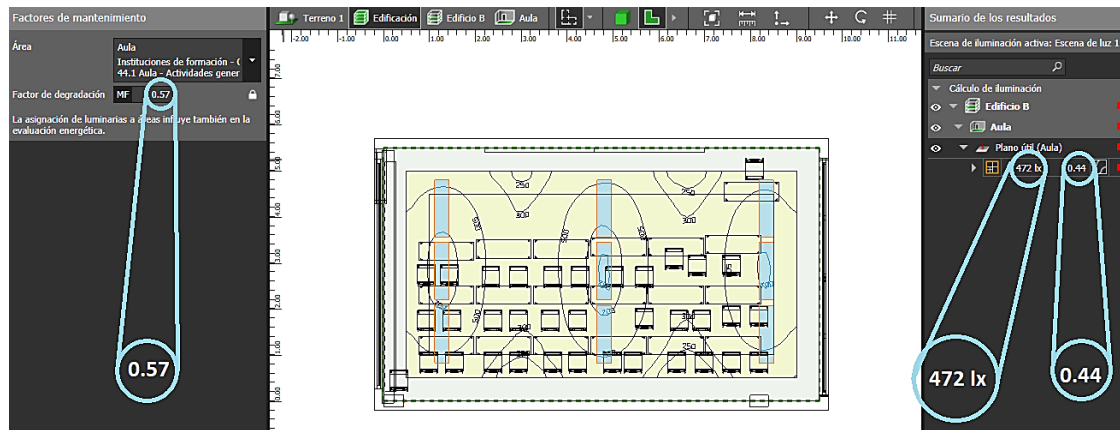


Figura 25. Diseño propuesto de iluminación con 9 luminarias PANLED3-36-E5-NW

Fuente: Elaboración propia (2025)

No obstante, otra de las ventajas que presenta el simulador es poner la cantidad de lámparas que se le indique al software, motivo por el cual, se redujo la cantidad de luminarias a 6, con la finalidad de observar los resultados seguido de la modificación, donde se encontró que los niveles de iluminación continuaban por encima del requerido y la uniformidad mejora un 3%, pese al bajo nivel del Fm . En la Figura 26 se muestran los resultados obtenidos al realizar la reducción del número de luminarias.

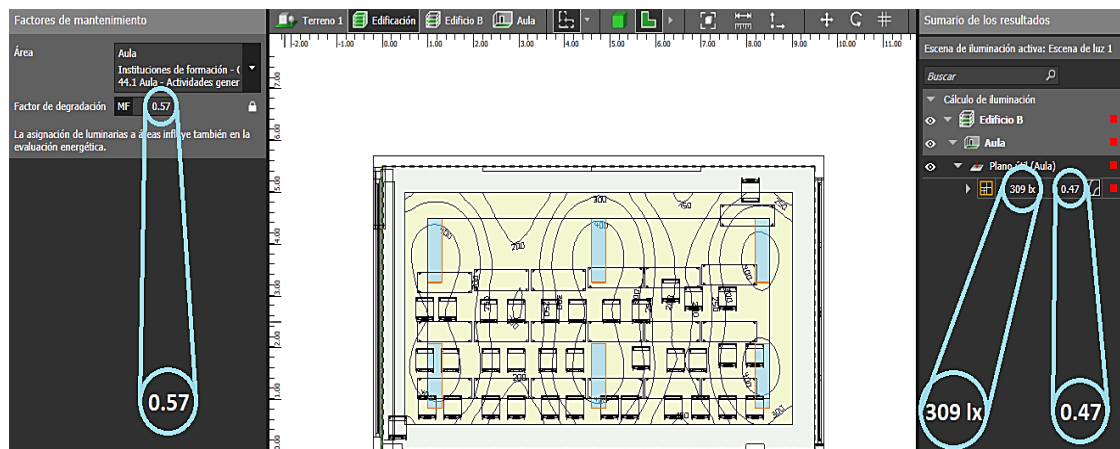


Figura 26. Diseño propuesto de iluminación con 6 luminarias PANLED3-36-E5-NW

Fuente: Elaboración propia (2025)

De acuerdo a los resultados obtenidos, se comenzó con la modificación de la configuración del sistema de iluminación, a fin de conseguir el nivel de uniformidad superior al 50% establecido en este proyecto, continuando con 6 luminarias derivado a que la cantidad de iluminación supera los 300 lux requeridos.

Después de modificar la configuración en repetidas ocasiones y ajustarlas, se consiguió una uniformidad mayor al 50% y un mejor nivel de iluminación, conservando el Fm del 57% que se encontró cuando recién se realizó la transición de tecnología, tomado como el Fm crítico como se muestra en la Figura 27, obteniendo los resultados buscados en los objetivos de este proyecto.

De igual forma, el archivo generado por el software DIALux evo, será incorporado en la parte de los anexos (Anexo 5).

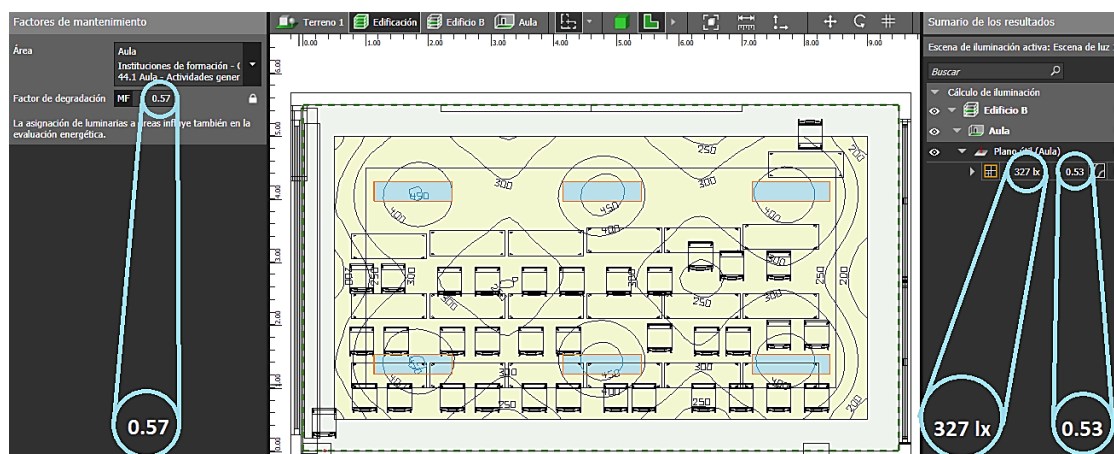
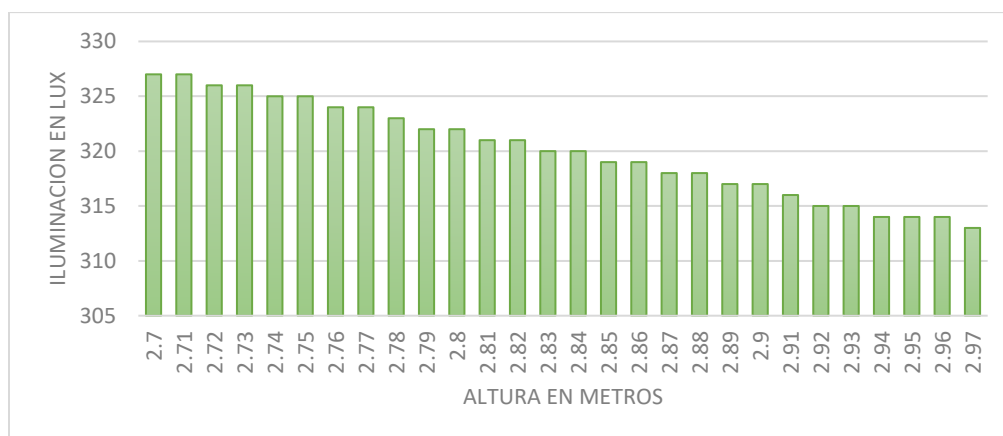


Figura 27. Diseño propuesto de iluminación con 6 luminarias y modificación de configuración PANLED3-36-E5-NM

Fuente: Elaboración propia (2025)

Como se realizó previamente, para hacer la elección de la altura que presente el mejor nivel de iluminación. Iniciando con la altura en las que se encuentra actualmente las luminarias, con una altura de 2.7 metros respecto al piso y finalizando con una altura de 2.97 como si la luminaria estuviese directamente empotrada al plafón.

La Gráfica 8 muestra el comportamiento de iluminación al modificar la altura centímetro por centímetro, donde claramente se observa que el nivel de iluminación es mayor, cuando la distancia de la luminaria al plano de trabajo es menor. Por tal motivo, las luminarias en los diseños de los salones mantendrán una altura de 2.7 metros, resaltando que algunas áreas de oportunidad también tendrán esta altura en las luminarias del sistema de iluminación.

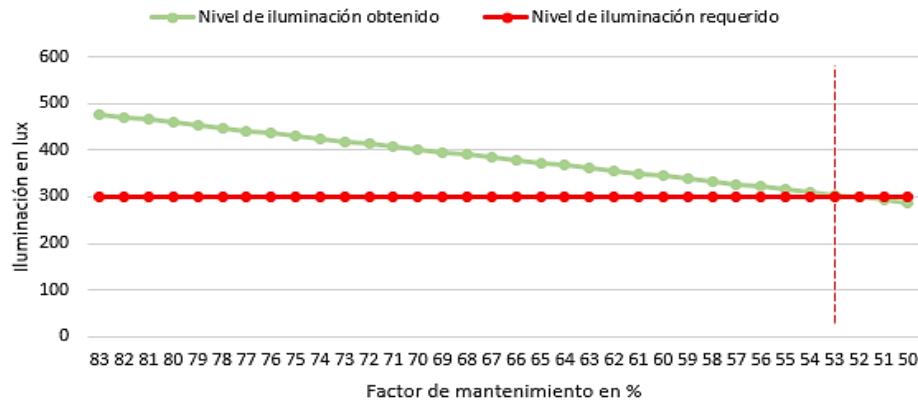


Gráfica 8. Nivel de iluminación con luminarias PANLED3-36-E5-NW respecto a la altura

Fuente: Elaboración propia (2025)

Por otra parte, es impredecible conocer el comportamiento de las luminarias mediante los factores que afectan su vida útil conforme al paso del tiempo seguido de iniciar su funcionamiento, a pesar de ello, se modificó el F_m en busca de conocer los valores límite (mínimo y máximo), a fin de conocer una estimación del flujo luminoso al considerar el cambio F_m , referenciando la Tabla 3 considerando el peor de los escenarios con un grado de contaminación “sucio”.

Por lo tanto, en la Gráfica 9 se observa la variación del nivel de iluminación de acuerdo en cómo el F_m va disminuyendo, donde se observa el nivel iluminación necesario por la norma (línea roja), el nivel de iluminación obtenido (línea verde) el F_m y punto de interconexión donde el nivel de iluminación aun es mayor a 300 lux (línea punteada en vertical).



Gráfica 9. Nivel de iluminación respecto a la variación del Factor de mantenimiento F_m

Fuente: Elaboración propia (2025)

Aunado a lo anterior, de la Gráfica 9 se puede agregar que, el valor máximo del F_m ($F_m=85\%$) se tomó considerando el grado de contaminación “sucio” referenciando de la tabla, por la notoria frecuencia de polvo que pueden tener las áreas de estudio por la cercanía del Plantel con cerros aledaños. Y mínimo ($F_m = 53\%$) encontrado en el simulador al modificar el F_m alcanzando un nivel de iluminación superior a 300 lux.

Como resultado, la propuesta del diseño de iluminación en salones se muestra en la Figura 28, con 6 luminarias PANLED3-36-E5-NW a una altura de 2.7 metros respecto al piso, obteniendo como resultados una uniformidad del 53% y un nivel de iluminación de 304 lux con el F_m menor al considerado como el crítico de 53%.

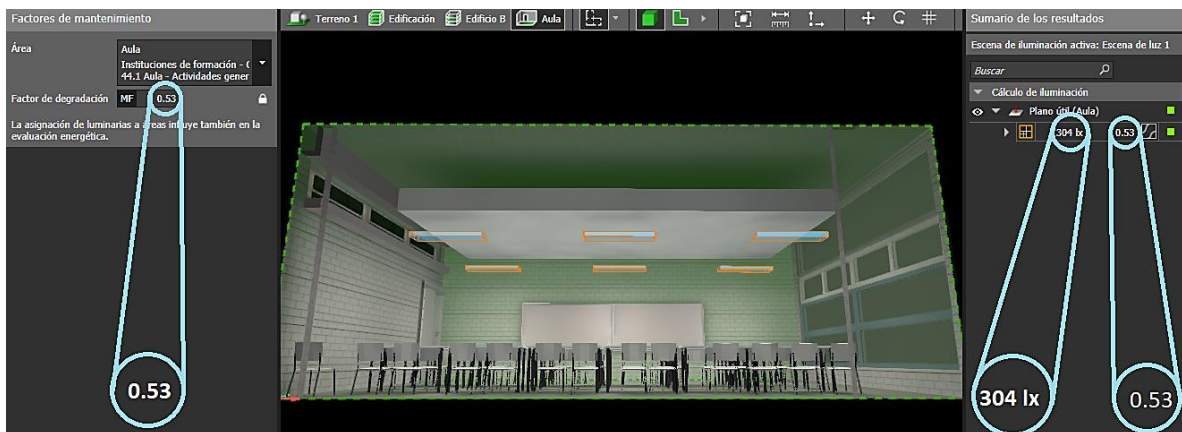


Figura 28. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en salones

En los diseños propuestos de iluminación, el plafón fue distribuido uniformemente, no obstante, al llevar a cabo la identificación y reconocimiento de las áreas de estudio, se observó que, algunos de los salones mantenían el plafón recargado hacia algunas de sus paredes como se muestra en la Figura 29, representado el área con un rectángulo y resaltando el plafón de color verde en los diferentes casos del 1 al 4.

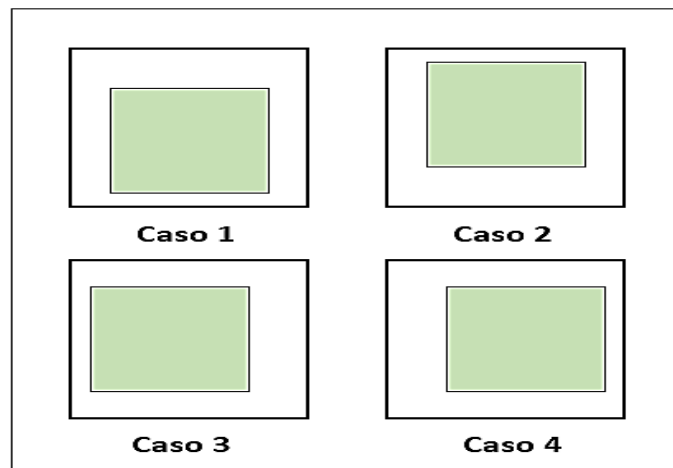


Figura 29. Distribución del plafón en salones diferentes casos

Fuente: Elaboración propia (2025)

Sin embargo, no presentan una gran diferencia en los niveles de iluminación si el plafón se encuentra como en alguno de los casos mencionados en la Figura 29, obteniendo promedios similares. Lo mismo ocurre con aquellos salones que mantiene una de sus paredes de color gris, aunque su grado de reflexión es menor, no altera ni disminuye la cantidad de iluminación en el plano de trabajo.

Con la finalidad de facilitar la comprensión, la Tabla 22 presenta un resumen de lo antes mencionado por columnas, donde se observa la cantidad de salones totales que contienen los edificios de estudio, el número de luminarias necesarias para obtener una buena iluminación en cada salón, completando en total 636 luminarias para todos los salones y los resultados obtenidos en el DIALux evo.

Asimismo, se presentan los resultados obtenidos (resaltados de color verde) al modificar el Fm con el valor mínimo como el crítico de 57% y máximo de 85%, donde los niveles de iluminación cumplen con la cantidad de iluminación referenciada por la norma y una uniformidad que, aunque no varía al cambiar el Fm es mayor al establecido como el límite, en pocas palabras, los resultados cumplen con los requerimientos normativos de este proyecto (marcados de color verde).

Tabla 22. Resumen de resultados obtenidos en DIALux evo con luminarias propuestas en salones

Actividad	Cantidad	No Luminarias	FM (%)	Nivel de iluminación en Lux	Unif. (%)
Salón	106	6	57	327	53
			83	477	53
Total	106	636			

Fuente: Elaboración propia (2025)

5.2.2. Simulación en cubículos

Los cubículos representan el 64% de la totalidad de las áreas analizadas en los edificios, los cuales, al igual que los salones se generalizaron en un diseño con el inmueble estándar, ya que en promedio mantiene las mismas, dimensiones y se desarrolla la misma actividad en su interior, buscando la mejor configuración del sistema de iluminación y la cantidad necesaria de las luminarias sugeridas.

Después de modificar, cambiar y ajustar la configuración del sistema de iluminación, tanto en orientación como en alturas de luminarias, se obtuvo como resultado, que la configuración que mantienen los cubículos es la más conveniente al alcanzar los niveles de iluminación y uniformidad superior al mínimo buscado, además de presentar la ventaja de poder seguir utilizando el equipo para suspender la luminaria.

La réplica de un cubículo se muestra en la Figura 30 en distintas perspectivas del observador, donde se puedes apreciar la ubicación de las luminarias, una suspendida desde techo y la otra empotrada al plafón. La altura viene condicionada por la construcción del área, pues las luminarias no pueden tomar una altura superior o inferior, con una altura de 2.5 metros respecto del piso.



Figura 30. Simulación en DIALux evo de cubículo

Fuente: Elaboración propia (2025)

En la Figura 31, se presenta el plano de un cubículo con el Fm del 57% donde se observa que, con el sistema de iluminación actual, pero con las luminarias sugeridas cumple con el mínimo de iluminación establecido por la NOM-025-STPS-2008 superando 12% la cantidad de iluminación y una uniformidad del 56%.

A manera de comprobación, en el Anexo 6, se muestra el archivo creado por el software DIALux evo.

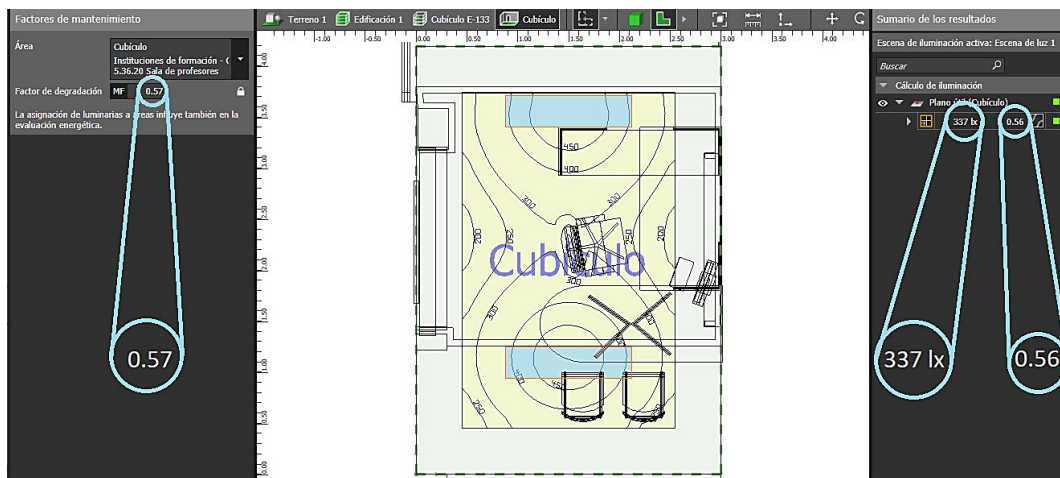


Figura 31. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en cubículos

Fuente: Elaboración propia (2025)

El resumen de los resultados obtenidos a partir de la simulación, se presentan en la Tabla 23, donde podemos observar que la uniformidad se mantiene al modificar el Fm con los valores límite y la iluminación en ambos casos está por encima del valor mínimo establecido por la norma de 300 lux, resultados resaltados en color verde. Por otra parte, se muestra la cantidad del total de áreas de las luminarias necesarias para los cubículos de profesores.

Tabla 23. Simulación con luminarias propuestas en cubículos

Actividad	Cantidad	No Luminarias	FM (%)	Nivel de iluminación en Lux	Unif. (%)
Cubículo	368	2	57	337	56
			83	490	56
Total	368	736			

Fuente: Elaboración propia (2025)

5.2.3. Simulación en laboratorios, biblioteca, talleres y aulas de cómputo

A continuación, se presenta los diseños propuestos del sistema de iluminación para aulas de cómputo, talleres, laboratorios y biblioteca (zona de lectura). Aunque todos requieren del

mismo nivel de iluminación de 500 lux establecido por la norma, cada área cuenta con materiales y equipos específicos para desarrollar sus actividades de forma correcta, lo que los hace diferentes, aun así, se incorporaron en 3 subgrupos, buscando realizar una cantidad definida de diseños pues sus dimensiones son similares.

Los laboratorios del 4to de los edificios A, B y C, forman parte del primer subgrupo, los cuales tienen dimensiones mayores al resto de las áreas, con un número de 20 luminarias necesarias para superar el mínimo de iluminación requerido por la norma de 500 lux y una uniformidad mayor al 50%, la mejor distribución y orientación de las luminarias se muestra en la Figura 32 a una altura de 2.8 metros respecto al piso, los valores obtenidos como resultado, son resaltados en el interior del círculo azul.

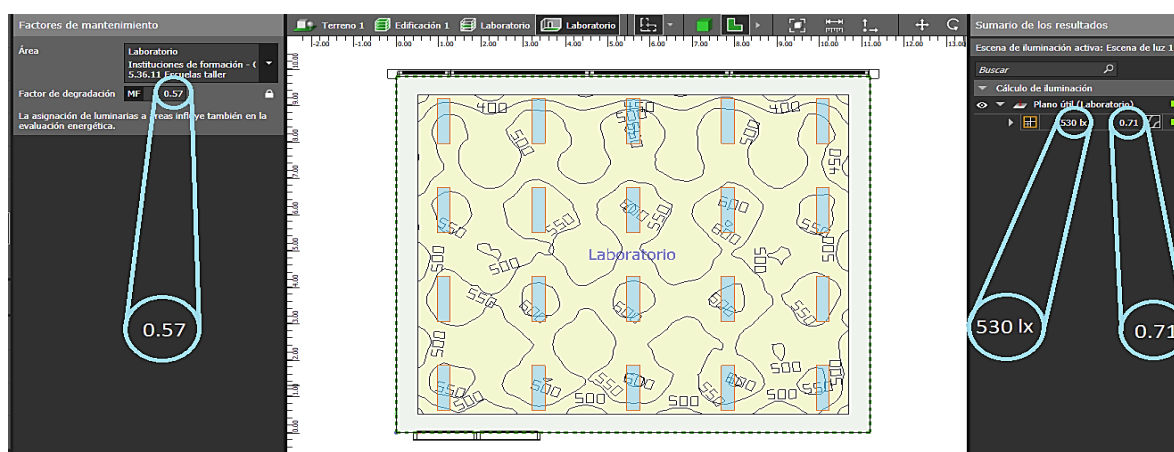


Figura 32. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en laboratorios

Fuente: Elaboración propia (2025)

Los talleres de letras habladas, artes populares, artes visuales, entre otros, son parte del siguiente subgrupo, junto con los laboratorios de idiomas y modelación matemática, quienes mantienen dimensiones similares ubicados al igual que los laboratorios en los edificios A, B y C entre el 1er, 2do y 3er nivel.

Actualmente estas áreas mantienen la misma configuración que salones, debido a que miden relativamente lo mismo, sin embargo, el nivel de iluminación que necesitan es mayor, por lo cual, es necesario una cantidad mayor de luminarias para alcanzar una buena iluminación.

En la Figura 33, se muestra la configuración de estas áreas con cantidad de 10 luminarias que satisfacen el nivel de iluminación y uniformidad buscado, con una altura de luminarias respecto al piso de 2.7 metros.

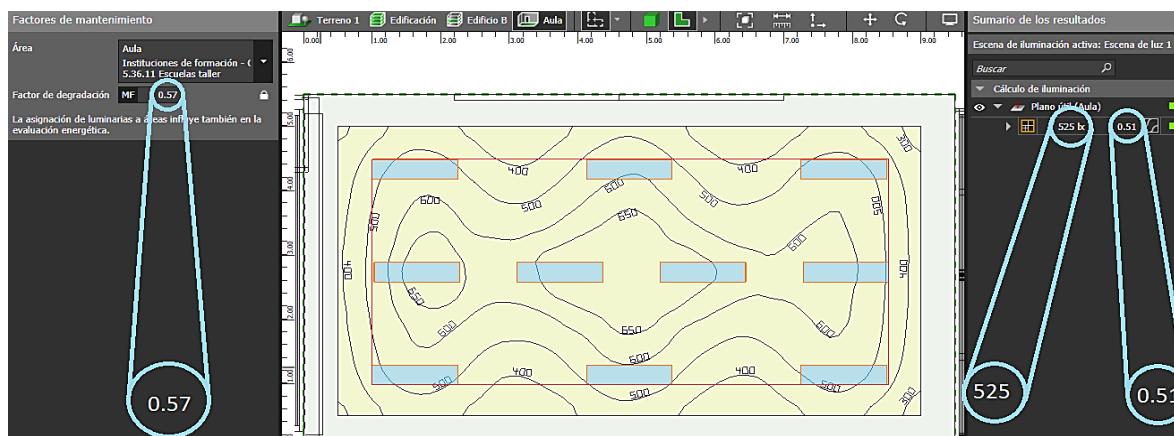


Figura 33. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en talleres y laboratorios

Fuente: Elaboración propia (2025)

Por último, se presentan áreas específicas que, aunque requieren el mismo nivel de iluminación de 500 lux, no mantienen similitud en sus dimensiones con el resto de las áreas analizados, motivo por el cual se analizaron de forma individual, obteniendo cantidades diferentes de luminarias PANLED3-36-E5-NW. Las áreas específicas son: las aulas de cómputo, los laboratorios de auto – acceso y la biblioteca ubicados en la planta bajo de los edificios A, B y C.

La réplica de las aulas de cómputo se muestra en la Figura 34, donde se realizó la reproducción de una de ellas con el inmueble estándar, donde se observa, la configuración del sistema de iluminación con un total de 13 luminarias conservando la misma altura de 2.7 metros.

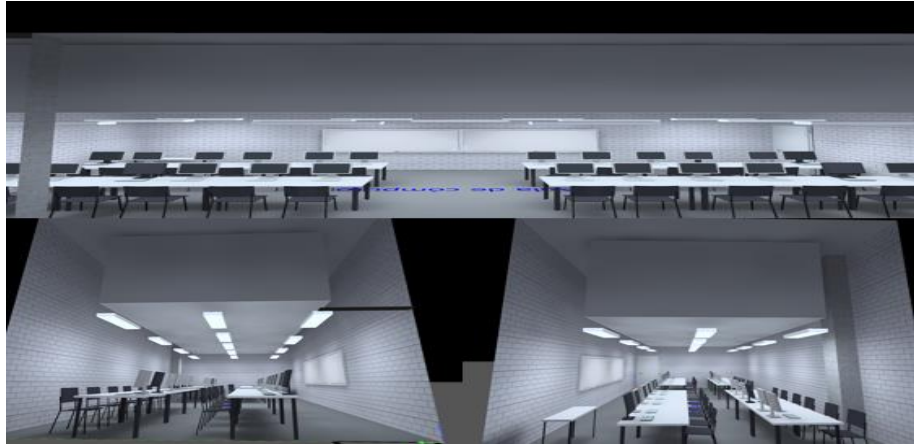


Figura 34. Simulación en DIALux evo de un aula de cómputo

Fuente: Elaboración propia (2025)

Aunado a lo anterior, en la Figura 35 se muestra con mayor claridad la configuración del sistema de iluminación propuesto, con líneas externas de 4 luminarias y la central con 5, alcanzando el nivel de iluminación superior al requerido y uniformidad, con el Fm del 57% establecido como el valor crítico. Los resultados obtenidos se muestran resaltados en el interior del círculo azul representado un acercamiento, para ser observado.

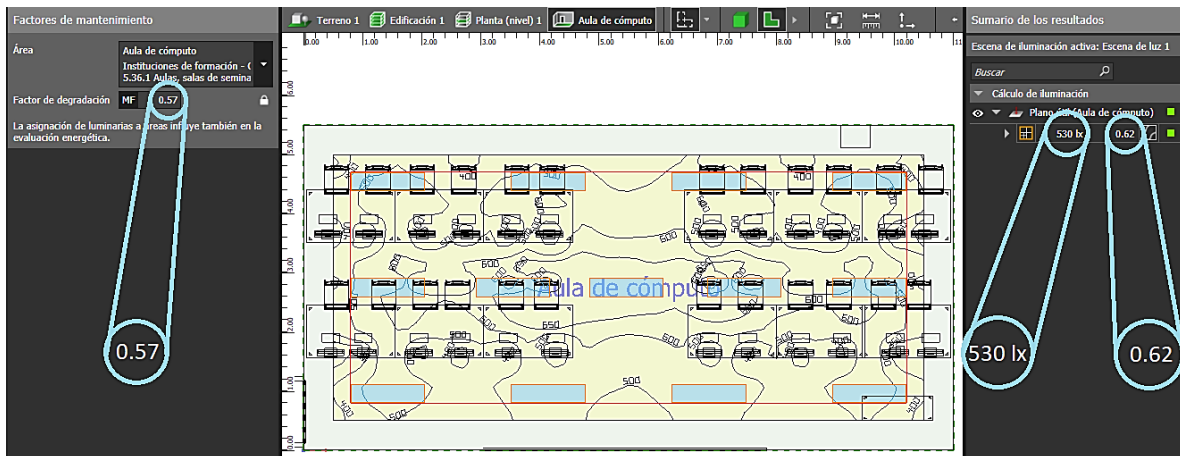


Figura 35. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en aulas de cómputo

Fuente: Elaboración propia (2025)

Los laboratorios de auto – acceso mantienen una configuración diferente, a pesar de que en su interior se realiza la misma actividad, debido a que sus dimensiones son diferentes, el número de luminarias y configuración es distinta, en la Figura 36 y 37 se observa la

distribución y orientación de las luminarias, donde al modificar y ajustar el nivel de iluminación cumple con los valores normativos el Fm del 57% valor tomado como el crítico.

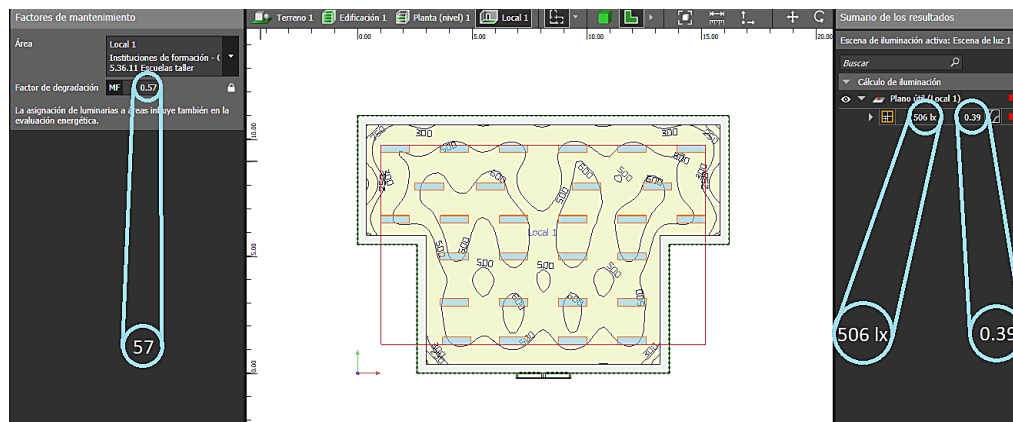


Figura 36. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en Lab. Auto – acceso A002

Fuente: Elaboración propia (2025)

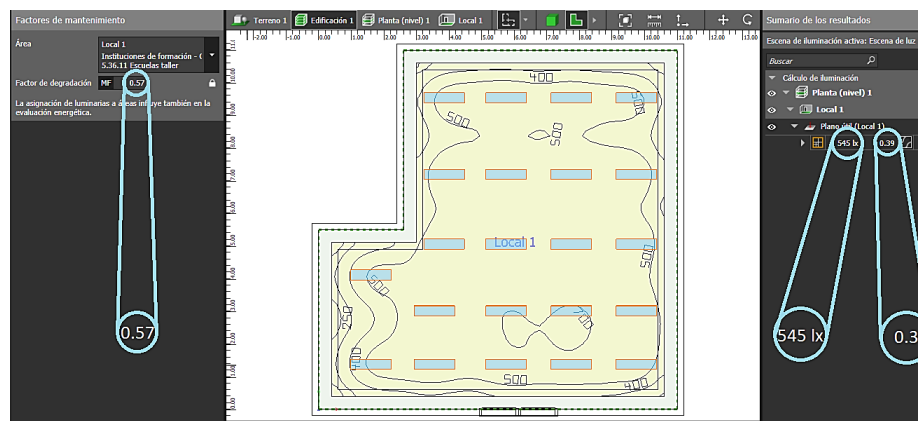


Figura 37. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en Lab. Auto – acceso A003

Fuente: Elaboración propia (2025)

Finalmente, en la Figura 38 se muestra la configuración de la biblioteca, dado que la biblioteca necesita dos niveles de iluminación, uno para zona de lectura (500 lux) y el otro para la zona de estanterías (300 lux). La cantidad de luminarias está condicionada por los resultados obtenidos, donde para la zona con mayor iluminación se proponen 8 luminarias resaltadas en color rojo y en la zona de estanterías 6 luminarias en color verde.

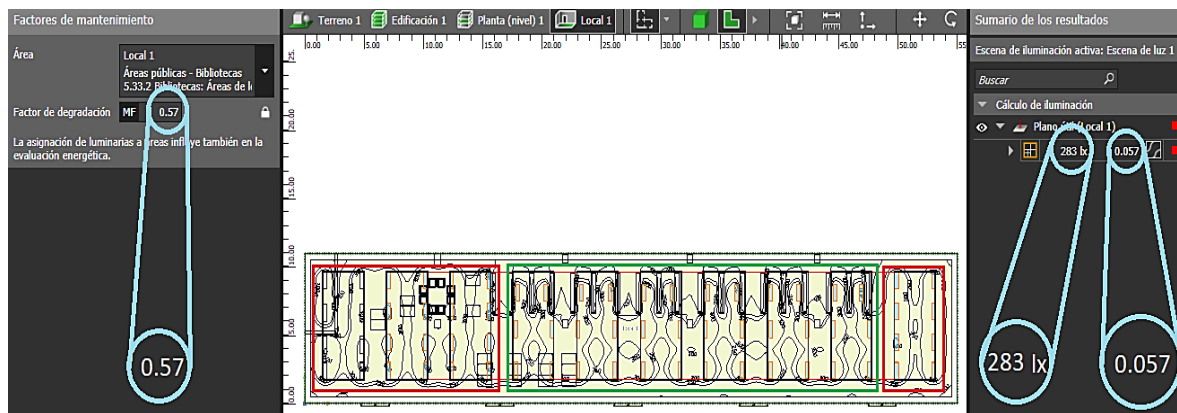


Figura 38. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en Biblioteca

Fuente: Elaboración propia (2025)

Los resultados obtenidos respecto a los niveles de iluminación al realizar la simulación, son bajos a los buscados, sin embargo, al realizar un acercamiento en el software, se observó que la biblioteca mantenía los niveles de iluminación buscados, como se observa en la Figura 39, donde se puede apreciar que, para la zona de lectura resaltada en color rojo se alcanzan los 500 lux y en la zona de estantería 300 lux, enmarcadas de rojo y blanco respectivamente.



Figura 39. Acercamiento de la propuesta de diseño del sistema de iluminación en Biblioteca

Fuente: Elaboración propia (2025)

En la Tabla 24, se muestra la síntesis de los resultados de niveles de iluminación y uniformidad, con los distintos valores límite del F_m , asimismo, el número de luminarias necesarias en las diferentes áreas analizadas. En la columna de actividad, existen áreas con

la leyenda S/N (Sin Nombre) las cuales no se identificaron con el nombre oficial, pero si con la actividad que se realiza en su interior.

Tabla 24. Simulación con luminarias propuestas en Lab. Tall., aulas de cómputo y biblioteca

Actividad	Cantidad	No Luminarias	FM (%)	Nivel de iluminación en Lux	Unif. (%)
Aula de cómputo	9	13	57	530	62
			83	772	61
Auto - acceso A002 Auto – acceso A003	1	28	57	530	39
			83	737	39
	1	22	57	545	39
			83	794	39
Lab. Idiomas	2	10	57	525	51
			83	765	51
Lab. Física	4	20	57	530	71
			83	772	71
Lab. Biología	3	20	57	530	71
			83	772	71
Lab. Química	3	20	57	530	71
			83	772	71
Lab. S/N	1	10	57	525	51
			83	765	51
LACESI	1	10	57	525	51
			83	765	51
Lab. Sistemas de potencia	1	20	57	530	71
			83	772	71
Lab. Modelación matemática	1	10	57	525	51
			83	765	51
Lab. Redes computacionales	1	20	57	530	71
			83	772	51

Actividad	Cantidad	No Luminarias	FM (%)	Nivel de iluminación en Lux	Unif. (%)
Lab. S/N	1	20	57	530	71
			83	772	71
Lab. Robótica y automatización	1	20	57	530	71
			83	772	71
Lab. Control instrumental	1	20	57	530	71
			83	772	71
Tall. Artes visuales	1	10	57	525	51
			83	765	51
Tall. Letras habladas	1	10	57	525	51
			83	765	51
Tall. S/N	4	10	57	525	51
			83	765	51
Tall. Artes populares	1	10	57	525	51
			83	765	51
Tall. Salón	5	10	57	525	51
			83	765	51
Biblioteca	1	68	57	283	0.057
			83	412	0.076
Total	43	705			

Fuente: Elaboración propia (2025)

Las celdas en color rojo, hacen referencia a las áreas que no cumplen con los niveles adecuados de iluminación o uniformidad, siendo los laboratorios de auto - acceso y la biblioteca, dado a que la distribución del sistema de iluminación está condicionado a la forma de su plafón y dimensiones. Por otra parte, los archivos generados por el simulador serán incorporados en la parte de los anexos (Anexo 7).

5.2.4. Simulación en áreas administrativas

De acuerdo con la información proporcionada por el personal, las actividades que se desarrollan en el interior de las áreas administrativas no estaban contempladas en la planificación del plantel; sin embargo, tuvieron lugar como consecuencia de las necesidades de la institución, es por ello que, como esas áreas estaban consideradas para otras actividades, mantienen similitud en dimensiones y niveles de iluminación con áreas anteriormente analizadas.

Las áreas administrativas que por su similitud en dimensiones con salones comparten el mismo diseño propuesto de iluminación son: las aulas multimedia ch, el aula de titulación, sala de juntas, certificación y registro, al igual que las áreas del programa de energía y difusión cultural. Por otra parte, las que comparten el mismo diseño propuesto que los cubículos de profesores son: representación sindical SLT, Dpto. ingeniería eléctrica, observatorio social oriente, consejo del Plantel SLT, soporte técnico y servicio social, asimismo, atención nutricional, sala de lactancia, comunicación e información, radio, entre otras.

Así como hay áreas administrativas que, por su semejanza en dimensiones y nivel de iluminación cumplen con los valores normativos con diseños propuestos, también, existen otras áreas administrativas que no presentan una similitud en dimensiones con otras, tal es el caso del registro escolar y aulas multimedia gr. considerados casos específicos.

En la Figura 40 se observa la configuración del sistema de iluminación, con la cantidad de 13 luminarias a una altura de 2.7 metros respecto al piso, donde se obtienen como resultado una iluminación de 320 lux con un Fm crítico de 57%, cumpliendo con el nivel de iluminación por la norma. Por otra parte, también se muestra el nivel de uniformidad, con un valor muy bajo con apenas 14%, debido a que la orientación de luminarias esta condicionada con la forma que toma el plafón.

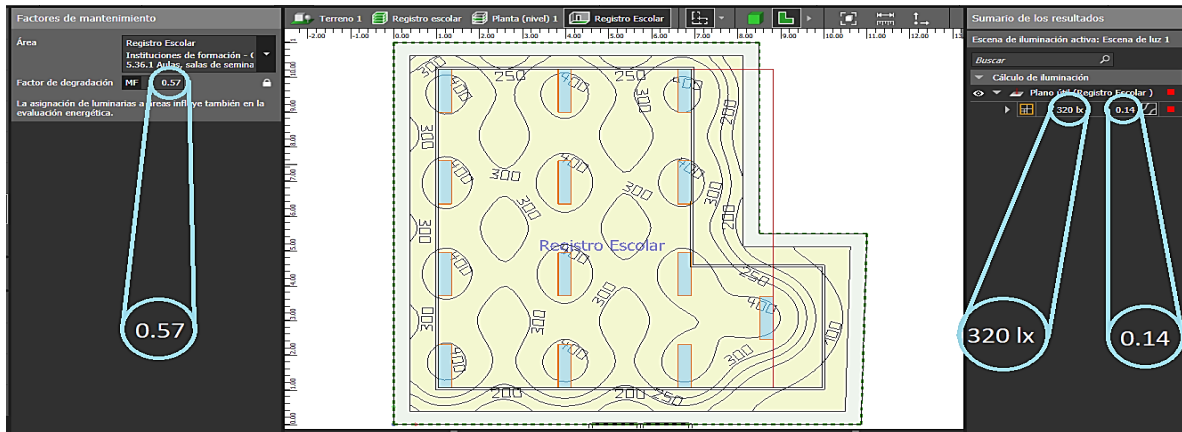


Figura 40. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en registro escolar

Fuente: Elaboración propia (2025)

De igual manera, en la Figura 41 se muestra la configuración con 12 lumirias distribuidas en ambos plafones que conforma parte de las aulas multimedia gr, las cuales tienen el doble de dimensiones que salones o aulas multimedia ch, donde se observa que son suficientes para alcanzar el nivel de iluminación mayor a 300 lux, sin embargo, al igual que en el registro escolar el sistema de iluminación propuesto esta condicionado por la forma en la que mantienen instalados plafones y la uniformidad obtenida no es suficiente para estar dentro de los valores normativos.

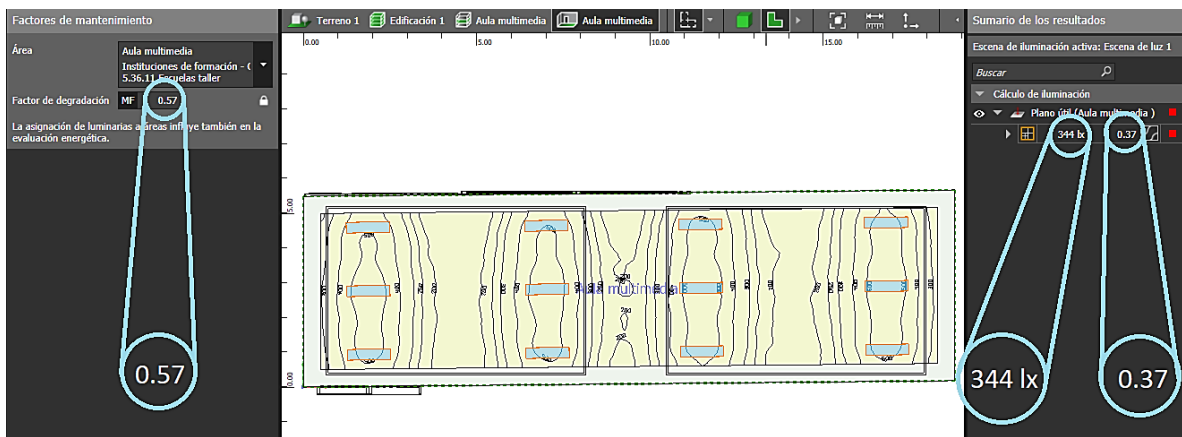


Figura 41. Propuesta de diseño del sistema de iluminación en aula multimedia gr

Fuente: Elaboración propia (2025)

Los archivos generados por el software DIALux evo, serán incorporados en la parte de los anexos (Anexo 8). Por otra parte, el resumen de los resultados obtenidos para áreas

administrativas se muestra en la Tabla 25, donde presenta la cantidad de luminarias necesarias por área y el total, con el cumplimiento de los valores normativos referenciados resaltados en color verde y en color rojo para los valores que no alcanzaron.

Tabla 25. Simulación con luminarias propuestas en áreas administrativas

Actividad	Cantidad	No Luminarias	FM (%)	Nivel de iluminación en Lux	Unif. (%)
Registro escolar	1	13	57	320	14
			83	466	13
Aula multimedia ch Aula multimedia gr	9	6	57	327	53
			83	477	53
	2	12	57	344	37
			83	501	37
Aula de titulación	1	6	57	327	53
			83	477	53
Difusión cultural	1	6	57	327	53
			83	477	53
Programa de energía	1	6	57	327	53
			83	477	53
Representación sindical SLT	1	2	57	337	56
			83	490	56
Dpto. Ingeniería eléctrica	1	2	57	337	56
			83	490	56
Observatorio social oriente	2	2	57	337	56
			83	490	56
Consejo del plantel SLT	1	2	57	337	56
			83	490	56
Soporte técnico	1	2	57	337	56
			83	490	56

Actividad	Cantidad	No Luminarias	FM (%)	Nivel de iluminación en Lux	Unif. (%)
Servicio social	1	2	57	337	56
			83	490	56
Atención nutricional	1	2	57	337	56
			83	490	56
Radio	1	2	57	337	56
			83	490	56
Sala de lactancia	1	2	57	337	56
			83	490	56
Nutrición y salud	1	2	57	337	56
			83	490	56
Comunicación e información	1	2	57	337	56
			83	490	56
Certificación y registro	1	6	57	327	53
			83	477	53
Sala de juntas	1	6	57	327	53
			83	477	53
S/N	1	2	57	337	56
			83	490	56
Total	30	147			

Fuente: Elaboración propia (2025)

Por último, es necesario mencionar la existencia de áreas donde se desarrollan actividades que, al tener acceso limitado, no se llevó a cabo un diseño con una configuración y cantidad de luminarias propuestas. Sin embargo, las áreas con diseños sugeridos completan el 97% de las áreas identificadas en los edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM.

5.3. Ahorro de energía en el sistema de iluminación

A partir del reconocimiento e identificación de las áreas de estudio, se conoce la cantidad de luminarias que actualmente utiliza el sistema de iluminación en el plantel, información que

será necesaria para hacer una aproximación del cálculo del consumo de energía con las luminarias PANLED3-36-E5-NW en el diseño de iluminación propuesto, asumiendo que el 3% de las áreas donde no se realizó una simulación en el software, necesitaría la misma cantidad de luminarias con las que actualmente opera, para tener una iluminación adecuada, completando el 100% de las áreas de estudio.

Dicho lo anterior, por medio del censo de la carga instalada en el sistema de iluminación de los edificios del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM y el estimado de las horas de operación, se calcula el consumo de energía con las luminarias PANLED3-36-E5-NW y con luminarias con lámparas de tecnologías fluorescente y LED T8, en donde la diferencia en el consumo de energía representa el ahorro que se obtiene al instalar las luminarias sugeridas.

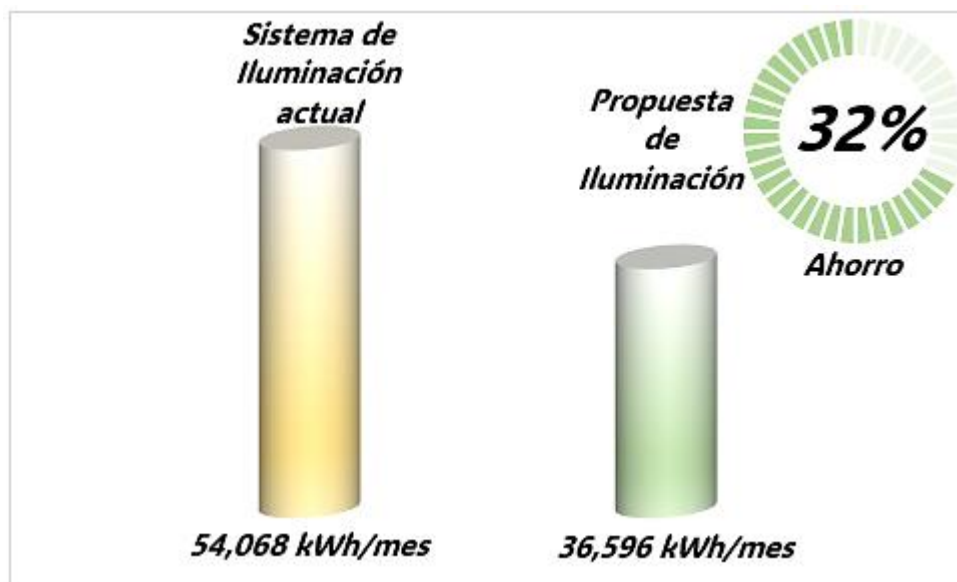
En la Tabla 26 se presenta la potencia unitaria de cada luminaria propuesta en este estudio, de igual forma la cantidad de luminarias totales en los cinco edificios objeto de estudio, el estimado de las horas de operación que el sistema de iluminación mantiene y el consumo de energía en kWh por mes.

Tabla 26. Energía consumida con luminarias propuestas en los edificios de Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM

Descripción del sistema de iluminación	Potencia unitaria (W)	Número de Luminarias	Horas en operación (h/mes)	Energía consumida (kWh/mes)
Luminaria PANLED3-36-E5-NW	40	2,358	388	36,596

Fuente: Elaboración propia (2025)

La Gráfica 10 contiene la información del cálculo estimado de la energía consumida con las luminarias con las tecnologías que mantiene y con las luminarias sugeridas en este proyecto, donde se observa la disminución de la carga total instalada al realizar la transición de tecnología. La reducción se estimó en 17,472 kWh/mes, pasando de 54,068 kWh/mes con luminarias actuales a 36,596 kWh/mes con luminarias propuestas, representado un ahorro del 32% en el consumo de energía.



Gráfica 10. Energía consumida y ahorro por sustitución de luminarias en los edificios del plantel SLT

Fuente: Elaboración propia (2025)

De acuerdo con la facturación eléctrica del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, se puede hacer una idea del ahorro económico que se obtiene al realizar la sustitución de luminarias en el sistema de iluminación. La Tabla 27, muestra el resumen de los datos de facturación eléctrica del Plantel SLT (de mayo de 2024 a abril de 2025), donde se presenta la demanda de energía eléctrica, el consumo de energía, la facturación total del plantel y el costo unitario de electricidad, obteniendo un costo unitario promedio de 3.23 \$/kWh.

Tabla 27. Facturación eléctrica mayo 2024 – abril 2025 Plantel San Lorenzo Tezonco, UACM

Mes	Demanda eléctrica (kW)	Consumo (kWh/mes)	Facturación total (\$/mes)	Costo unitario (\$/kWh)
Mayo	99,600	107,747	338,166	3.14
Junio	92,755	95,585	307,920	3.22
Julio	83,123	84,983	281,561	3.31
Agosto	99,773	105,090	336,575	3.20
Septiembre	95,800	103,163	324,695	3.15
Octubre	99,296	110,166	344,706	3.13
Noviembre	106,498	106,106	348,938	3.29

Mes	Demanda eléctrica (kW)	Consumo (kWh/mes)	Facturación total (\$/mes)	Costo unitario (\$/kWh)
Diciembre	93,691	92,295	302,233	3.27
Enero	99,141	99,041	324,256	3.27
Febrero	105,601	101,069	337,005	3.33
Marzo	106,942	113,810	360,752	3.17
Abril	101,252	106,029	340,150	3.21
Promedio	98,623	102,090	328,913	3.23

Fuente: Elaboración propia (2025)

Con el cálculo estimado del consumo de energía, se obtuvo una reducción de 17,472 kWh/mes que, al multiplicarlo por el costo unitario promedio, se obtiene un ahorro económico de \$56,436 pesos al mes, lo que representa 17% de la facturación total promedio.

5.4. Costo de inversión

La implementación del diseño propuesto para el sistema de iluminación requiere del suministro y colocación de 2,358 luminarias PANLED3-36-E5-NW, las cuales serán distribuidas y orientadas de acuerdo con los resultados obtenidos en el simulador DIALux evo, cada luminaria tiene un costo de \$708 pesos mexicanos.

En la Tabla 28 se muestra el modelo de la luminaria del diseño propuesto en el sistema de iluminación de la Universidad, asimismo, una breve descripción proporcionada por L.J iluminación, la cantidad de luminarias para las áreas identificadas y el monto total de inversión.

Tabla 28. Inversión económica con luminarias propuestas

Modelo	Descripción	No Luminarias	Precio unitario (\$)
PANLED3-36-E5-NW	Luminario tipo “LEDPANEL” de 30.3X12.3 CMS. Tipo backlite, para suspender (incluye	2,358	708

Modelo	Descripción	No Luminarias	Precio unitario (\$)
	kit de suspensión de 60 cm de longitud ajustable), fabricado en aluminio, con difusor de acrílico opalino. Con banco de Leds tipo SMD en color blanco neutro (4000 K), con flujo total de 4,000 lúmenes, con una Potencia de 40 W y tensión de operación de 100 – 240 volts.		
Monto total (\$)			1,669,464

Fuente: Elaboración propia (2025)

Es preciso enfatizar, que el precio de las luminarias varía de acuerdo a las características del montaje, pues como se mencionó estas luminarias pueden ser instaladas tanto empotradas como suspendidas, aunado al costo de inversión en el diseño de iluminación propuesto, no incluye mano de obra, ni materiales o herramientas adicionales, necesarios para su correcta instalación.

5.5. Tiempo de recuperación de la inversión

Al realizar el cálculo del consumo de energía del sistema de iluminación con las luminarias actuales y con las luminarias en el diseño propuesto, se presenta una reducción significativa en la facturación eléctrica del plantel, esa disminución en consumo aporta beneficios económicos capaz de recuperar el monto de inversión en un determinado tiempo.

Una forma sencilla de obtener el periodo de recuperación de inversión, es únicamente dividiendo el costo total de los equipos (luminarias) entre el ahorro económico que se espera tener. Siendo así, el ahorro económico mensual obtenido con el diseño propuesto para el sistema de iluminación es de \$56,436 pesos al mes y el monto total de inversión en luminarias es de \$1,669,464 pesos. Tal y como se observa en la ecuación (Ec. (11)):

$$\text{Recuperación de inversión} = \frac{\text{inversión (\$)}}{\text{ahorro (\frac{\$}{\text{mes}})}} = \text{mes} \quad \text{Ec. (11)}$$

Al sustituir en la ecuación, obtenemos:

$$\textit{Recuperación de inversión} = \frac{1,669,464 (\$)}{56,436 (\frac{\$}{\textit{mes}})} = 29.58 \textit{ mes}$$

Por lo tanto, se estima que la inversión será recuperada en un plazo de 29.58 meses, equivalente a un periodo de 2.46 años. Con las luminarias y materiales suministrados descritos en el apartado anterior (5.3. Costo de inversión).

Conclusiones

El Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, está conformado por cinco edificios, donde alumnos, profesores y personal administrativo desarrolla sus actividades cotidianas, completando un total de 569 áreas identificadas de estudio, con un área total construida de aproximadamente 16,292 m². El sistema de iluminación ha sido motivación de múltiples investigaciones, debido a que es uno de los principales consumidores de energía eléctrica, pero presenta bajos niveles de iluminación, razón por la cual, se continua con la búsqueda de realizar propuestas que mejoren la calidad de iluminación con el uso eficiente de energía.

En este contexto, se realizó la reproducción de las áreas estudio de los edificios del Plantel con el sistema de iluminación actual mediante el uso del software DIALux evo, buscando con la modificación de las luminarias instaladas la mejor orientación y altura para el cumplimiento de la NOM-025-STPS-2008 sin conseguirlo, obteniendo más aspectos negativos que positivos, resaltando los más relevantes a continuación:

- Una mayor cantidad de lámparas trae consigo un incremento en el consumo energético y un mayor gasto económico.
- Las zonas dentro de las áreas que mejoran su iluminación son esquinas o sitios que no tienen gran importancia en el plano de trabajo.

Por tal motivo, se llevó a cabo la propuesta de un diseño del sistema de iluminación con luminarias PANLED3-36-E5-NW como la mejor opción, resultando mejor de lo esperado, pues es necesario un menor número de luminarias para obtener una buena iluminación, presentando una disminución en el consumo de energía que refleja un ahorro económico con el cumplimiento de la NOM-025-STPS-2008 en el 100% de las áreas identificadas.

Es importante señalar que las Autoridades del Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM junto con la dirección general de Obras y Conservación deben realizar una evaluación para observar si es posible reutilizar el material (cables de suspensión) de la instalación actual.

Pese a esto, el desarrollo de este proyecto no pierde su rentabilidad presentando un ahorro económico.

Cabe mencionar que el cálculo de los ahorros se elaboró con la potencia nominal de las luminarias que aloja actualmente y con las luminarias propuestas, de la estimación de la energía consumida en el sistema de iluminación de los edificios del plantel, se obtuvo una disminución del 32%. La reducción se estimó en 17,472 kWh/mes, pasando de 54,068 kWh/mes con luminarias actualmente instaladas a 36,596 kWh/mes con luminarias sugeridas, presentando un ahorro económico de \$56,436 pesos al mes, lo que representa 17% de la facturación eléctrica del plantel.

Respecto al nivel de uniformidad de iluminación con el diseño con luminarias propuesto en el DIALux para las áreas de estudio de la Universidad, se verificó que la gran mayoría de áreas cumplen con una uniformidad superior al 50%, conforme a los valores establecidos por la UNE 12464.1, donde el 99% de las áreas cumple con el nivel de uniformidad.

Basados en estándares establecidos por la NOM-025-STPS-2008 y de la UNE 12464.1, el sistema de iluminación es un sistema eficiente, ya que el factor de deslumbramiento se encuentra dentro de los valores o límites establecidos.

Finalmente, de la experiencia práctica obtenida para el desarrollo de este proyecto, fue posible elaborar la réplica de las áreas de estudio, encontrando áreas de oportunidad con una propuesta en el sistema de iluminación en el software DIALux evo, reemplazando las luminarias actuales por luminarias PANLED3-36-E5-NW con niveles de iluminación adecuados y un ahorro tanto energético como económico, obteniendo información sustancial que pudiera servir para el mejoramiento y trabajos futuros.

Referencias Bibliográficas

- AENOR. (2021). Norma europea sobre iluminación para interiores (EN 12464-1).
- Alibaba. (2024). *Luces e iluminación*. Obtenido de Tubos LED: https://www.alibaba.com/product-detail/180lm-w-replace-49w-80w-tube_60761584264.html
- Ambientes soluciones. (2021). *VIDA ÚTIL DE UNA LÁMPARA LED, ¿QUÉ ES Y CÓMO SE CALCULA?* Obtenido de Sociedades BIC: <https://www.ambientesoluciones.com/portal/noticias-de-actualidad/vida-util-de-una-lampara-led-que-es-y-como-se-calcula>
- AMPROBE. (2015). *AMPROBE*. Obtenido de LM-200LED LED Light Meter Users Manual: https://www.amprobe.com/wp-content/uploads/2019/10/22161552/LM-200LED_manual.pdf
- Ansell Lighting. (2025). *Explicación de las clasificaciones unificadas de deslumbramiento*. Obtenido de Ansell Lighting Designed to Deliver: <https://ansell-lighting.com/en/articles/technical/unified-glare-ratings-explained>
- Arbona Hidalgo, L. (2020). *ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA ILUMINACIÓN EN LA PERCEPCIÓN DE LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS*. [Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de Valencia]. Obtenido de <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/8085850d-8a31-47de-a396-ae0d354cf4fe/content>
- Auer Signal. (S.F.). *Todo sobre la intensidad luminosa, el flujo luminoso y la iluminancia*. Obtenido de Auer Signal: <https://www.auersignal.com/es/datos-tecnicos/indicacion-luminos/intensidad-luminosa/>
- Benwei Lighting. (09 de abril de 2024). *¿Cuál es la diferencia entre la base G5 y G13?* Obtenido de <https://es.benweilighting.com/info/what-is-the-difference-between-g5-and-g13-base-100493644.html>
- Cad-Projects. (2011). *Magnitudes y unidades de medida*. Obtenido de Cad-Projects: https://www.cad-projects.org/4.3.3-manual_luminotecnia/index.php?art=2

- Canalejo, L. (18 de Enero de 2023). *Índice de Rendimiento Cromático o CRI: por qué es importante este indicador*. Obtenido de Faro barcelona: <https://faro.es/es/blog/indice-de-rendimiento-cromatico/>
- Chatellier, L. D., & McNeil, M. (2019). *CONSUMO DE ELECTRICIDAD DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES EN MÉXICO: LA IMPORTANCIA DEL SECTOR DE SERVICIOS*. Obtenido de CONUEE: https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/Cuadernos/cuaderno3nvociclo_2.pdf
- Chávez Valencia, L. E., Ruíz Jaime, C. L., & Alonso Guzmán, E. M. (30 de Septiembre de 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*(82), págs. 119-136. doi:10.35830/cn.vi82.548
- COMPARALux. (2020). *Buscador de iluminación*. Obtenido de Magnitudes Físicas Fundamentales: <https://www.comparalux.es/www/apuntes/magnitudesFundamentales.php>
- Conejo Navarro, A. J., Arroyo Sánchez, J. M., Milano, F., Alguacil Conde, N., Polo Sanz, J. L., García Bertrand, R., . . . Luis, L. (s.f.). *INSTALACIONES ELÉCTRICAS*. Obtenido de <https://bidis.udelas.ac.pa/index.php/BIDIS/catalog/view/3223/3301/15803>
- Diario Oficial de la Federación. (2008). Norma oficial mexicana NOM-025-STPS-2008.
- Diario Oficial de la Federación. (2014). Norma oficial mexicana NOM-007-ENER-2014: .
- Diario Oficial de la Federación. (24 de 12 de 2015). Ley de Transición Energética. México.
- Electrical4U. (22 de Junio de 2024). *Fluorescent Lamp and Working Principle of Fluorescent Lamp*. Obtenido de Electrical4U: <https://www.electrical4u.com/fluorescent-lamp-its-working-principle/>
- ERCO. (2023). *Diseño con luz*. Obtenido de ¿Qué es el UGR (Índice de Deslumbramiento Unificado)?: https://www.erco.com/en_us/designing-with-light/lighting-knowledge/lighting-design/ugr-method-7488/
- ETAP. (2018). *Excellent Lighting, Saving Energy*. Francia: DOSSIER. Obtenido de https://www.etaplighting.com/sites/default/files/uploads/Brochures/leddossier%20update%202018_ES.pdf

- Google maps. (2025). *Vista Satéltal de Región de la Ciudad de México*. Obtenido de https://satellites.pro/mapa_de_Region_de_Ciudad_de_Mexico#google_vignette
- Horace, H. (26 de diciembre de 2023). *Qué es el coeficiente de utilización (cu)*. Obtenido de RAYZEEK: https://www.rayzeek.com/es/glosario/que-es-el-coeficiente-de-utilizacion-cu?srsId=AfmBOorKwNr-SgEazbcwaC8_8Nj_xVjz9CmGyexD5nEdQAczjGRoyeqz
- Karlen , M., & Benya, J. R. (2004). *Lighting design basics*. Canada: acid-free. Obtenido de <https://yazdnoor.com/wp-content/uploads/2024/08/lighting-design-basics-1.pdf>
- L.J. iluminación . (2024). *Fabricantes de luminarios LED*. Obtenido de Panel LED: <https://ljiluminacion.mx/productos-lj-iluminacion/wp-content/uploads/2024/12/PANLED3-36-E5-NW.pdf?>
- Laszlo, C. (2018). *Manual de luminotecnica para interiores*. Obtenido de https://electrosertec.com/img/cms/Manual_de_Luminotecnica_interior.PDF
- Marrufo González, M., & Castillo Pedrosa, J. (2018). Luminotecnica. Dispositivos para alumbrado. En M. Marrufo González, & J. Castillo Pedrosa, *Instalaciones eléctricas básicas* (págs. 172-205). McGraw-Hill Ciclos Formativos. Obtenido de file:///C:/Users/cesar/Downloads/844861173X.pdf
- Morente Monserrat, C. (04 de abril de 2013). *Fundamentos de iluminación*. Obtenido de Magnitudes Luminosas: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/fundamentosIluminacion-magnitudesLuminosas.php>
- PEUACM. (2 de septiembre de 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>
- Romero, R. C. (2022). *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*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de la Ciudad de México].
- Sánchez, S. M. (2015). UF0567: Eficiencia en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior. España: elearning s.l. Obtenido de https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/Cuadernos/cuaderno3nvociclo_2.pdf
- StouchLighting. (13 de enero de 2016). *Lighting Comparison: LED vs Fluorescent and CFL*. Obtenido de Stouch Lighting LED Lighting Solutions: <https://www.stouchlighting.com/blog/fluorescent-vs-led-vs-cfl#:~:text=Las%20luces%20fluorescentes%20contienen%20mercurio,encuentra%20en%20el%20propio%20vidrio.>
- Taylor, A. (2000). *Illumination Fundamentals*. Obtenido de <https://www.synopsys.com/content/dam/synopsys/optical-solutions/documents/datasheets/illumination-fundamentals.pdf>
- tuveras. (s.f.). *Luminotecnia*. Obtenido de Lámparas y luminaria: <https://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>
- zumtobel. (2018). *The Lighting Handbook*. Obtenido de <https://www.zumtobel.com/PDB/teaser/EN/lichthandbuch.pdf>

Anexos

Anexo 1. Ficha técnica de lámparas fluorescentes y Ficha técnica de lámpara LED



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		Mechanical and Housing	
Base	G13 (Medium B - Pin Fluorescent)	Cap-Base Information	Green Base
Life 12-Hr Program Start (Hrs)	36000 h	Nominal Length (inch)	48
Life 12-Hr Instant Start (Hrs)	30000 h	Approval and Application	
Life 3-Hr Program Start (Hrs)	30000 h	Energy Saving Product	Energy Saving
Life 3-Hr Instant Start (Hrs)	24000 h	Program Per Lumen Hour	25 pg/lmh
Features	ALTO® (ALT 0)	Mercury (Hg) Content (Nom)	1.7 mg
Footcandles Fluorescent/CFL 1	Circle E- The ended E means this bulb meets Federal minimum efficiency standards.	Product Data	
Light Technical		Order product name	F32T8/TL841/ALTO UPC 30PK
Color Code	TL841 CCT of 4100K (B41)	EAN/UPC - Product	0-46 677453800
Initial lumen (Nom)	2850 lm	Order code	453803
Color Designation	TL841	Numerator - Quantity Per Pack	1
Design Mean Lumens	2710 lm	Numerator - Packs per outer box	30
Correlated Color Temperature (Nom)	4100 K	Material Nr. (I2NC)	9 27999 78418
Color Rendering Index (Nom)	85	Net Weight (Piece)	0.001kg
Operating and Electrical			
Power (Rated) (Nom)	32 W		

Warnings and Safety

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



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

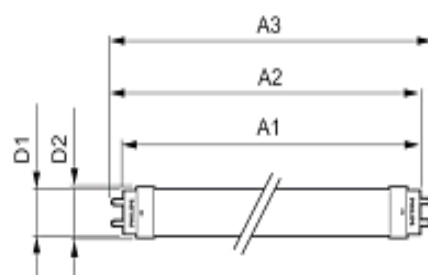
Funcionamiento de emergencia		Power (Rated) (Nom)	
Tapa y base	G13 (Medium Bi-Pin Fluorescent)		18 W
Cumple con el reglamento RoHS de la UE	Si	Corriente de la lámpara (máx.)	183 mA
Vida útil nominal (nominal)	30 000 h	Corriente de la lámpara (mín.)	68 mA
Ciclo de alternado	20 000 00x	Tiempo de inicio (nominal)	0.5 s
Rendimiento inicial (conforme con IEC)		Tiempo de calentamiento para 60 % de luz (nominal)	0.5 s
Código de color	840 (CCT de 4 000 K)	Factor de potencia (nominal)	0.9
Ángulo de haz (nominal)	240 °	Voltaje (nominal)	100-277 V
Flujo luminoso (nominal)	2100 lm	Temperatura	
Designación de color	Blanco frío (CW)	T° ambiente (máx.)	45 °C
Temperatura de color correlacionada (nominal)	4000 K	T° ambiente (mín.)	-20 °C
Eficacia luminosa (promedio) (nominal)	115.00 lm/W	T° almacenamiento (máx.)	65 °C
Consistencia de color	<5	T° almacenamiento (mín.)	-40 °C
Índice de reproducción de color (Nom)	80	T° estuche máxima (nominal)	55 °C
LLMF At End Of Nominal Lifetime (Nom)	70 %	Controles y regulación	
Mecánicos y de carcasa		Con regulación de intensidad	No
Frecuencia de entrada	50 a 60 Hz		

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 ENEC Keur
Consumo de energía (kWh/1000 h)	- kWh
Datos de producto	
Código del producto completo	8 78 69 99 94 2300

Nombre del producto del pedido	CorePro LEDtube HQ 1200mm 18W/840 VVV T8
EAN/UPC producto	878699599423
Código del pedido	929 009 4781
Numerador - Quantity Per Pack	1
Numerador - Packs per outer box	10
N.º de material (DNC)	929 009 4781
Net Weight (Piece)	0.183 kg

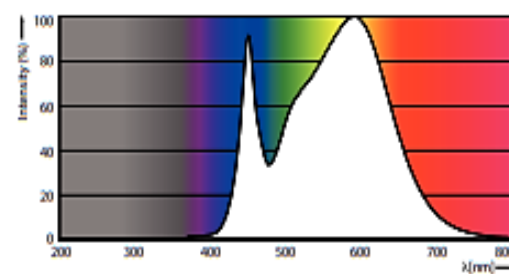
Plano de dimensiones



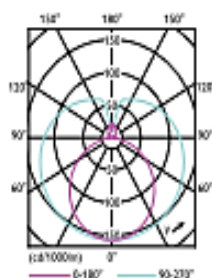
CorePro LEDtube HQ 1200mm 18W/840 VVV T8

Product	D1	D2	A1	A2	A3
CorePro LEDtube HQ 1200mm 18W/840 VVV T8	25.7 mm	28 mm	188 mm	1205 mm	1212 mm

Datos fotométricos



LEDtube COR 8W G13 800lm 840



LEDtube COR 18W G13 2100lm

Anexo 2. Catálogo de balastros

Balastros de atenuación fluorescentes Hi-lume 3D Atenuación arquitectónica

350280 t 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 x 25 mm (1 pulg) alto x 457 mm (18 pulg) largo



Hi-lume 3D, tipo de caja G

60 mm (2,38 pulg) ancho x 25 mm (1 pulg) alto x 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

LUTRON DOCUMENTO DE ESPECIFICACIONES

Página

1

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 balastos de alta frecuencia ANSI C82.11.
- Cumple con las exigencias de la FCC Parte 18 para no consumidores con respecto a emisiones EMV/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 mm² a 1,5 mm² (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 $\pm 2\%$ para variaciones de voltaje de línea de $\pm 10\%$.
- 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, H3DT54CU110, y H3DT521CU110 tienen una THD inferior a 15%.

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

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 LL-9-2009).

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 sistema³ (lm)	Eficacia del sistema³ (lm/W)	Factor de eficacia del balastro (BEF)	Eficacia relativa del sistema (RSE)
	40 W (1 524 mm (60 pulg))	1	C	H3D T840 C U 1 10	120	0,38	1,00	43,8	3 800	87	2,28	0,91
					240	0,18	1,00	43,0	3 800	88	2,33	0,93
					277	0,16	1,00	42,8	3 800	89	2,34	0,94
		1	C	H3D T840 C U 1 17	120	0,42	1,17	50,6	4 446	88	2,31	0,92
					240	0,21	1,17	49,4	4 446	90	2,37	0,95
					277	0,18	1,17	49,6	4 446	90	2,36	0,92
		2	C	H3D T840 C U 2 10	120	0,76	1,00	90,9	7 600	84	1,10	0,90
					240	0,37	1,00	88,4	7 600	86	1,13	0,91
		2	C	H3D T840 C U 2 17	277	0,32	1,00	88,9	7 600	86	1,13	0,94
					120	0,85	1,17	100,3	8 892	89	1,17	0,93
		32 W (1 219 mm (48 pulg))	1	C	H3D T832 C U 1 10 ^{1,2}	240	0,41	1,17	97,2	8 892	92	1,20
	277					0,36	1,17	98,2	8 892	91	1,19	0,95
	120					0,32	1,00	38,5	3 000	78	2,60	0,83
			G	H3D T832 G U 1 10 ^{1,2,4}	240	0,16	1,00	37,7	3 000	80	2,65	0,85
					277	0,14	1,00	37,6	3 000	80	2,66	0,85
					120	0,30	1,00	34,8	3 000	86	2,87	0,92
	1		C	H3D T832 C U 1 17 ^{1,2}	240	0,15	1,00	35,0	3 000	86	2,85	0,91
					277	0,13	1,00	35,1	3 000	85	2,85	0,91
					120	0,34	1,17	40,8	3 510	86	2,87	0,92
			G	H3D T832 G U 1 17 ^{1,4}	240	0,17	1,17	40,8	3 510	86	2,87	0,92
		277			0,15	1,17	41,6	3 510	84	2,82	0,90	
120		0,34			1,17	39,7	3 510	88	2,95	0,94		
2	C	H3D T832 C U 2 10 ^{1,2}	240	0,17	1,17	40,0	3 510	88	2,92	0,94		
			277	0,15	1,17	40,1	3 510	88	2,92	0,93		
			120	0,57	1,00	68,4	6 000	88	1,46	0,94		
	G	H3D T832 G U 2 10 ^{1,2,4}	240	0,28	1,00	67,2	6 000	89	1,49	0,95		
			277	0,24	1,00	66,5	6 000	90	1,50	0,96		
			120	0,58	1,00	68,9	6 000	91	1,52	0,97		
2	C	H3D T832 C U 2 17 ^{1,2}	240	0,28	1,00	66,3	6 000	90	1,51	0,97		
			277	0,24	1,00	66,5	6 000	90	1,50	0,96		
			120	0,65	1,17	78,0	7 020	90	1,50	0,96		
	G	H3D T832 G U 2 17 ^{1,4}	240	0,32	1,17	76,8	7 020	91	1,52	0,98		
			277	0,28	1,17	77,6	7 020	91	1,51	0,97		
			120	0,67	1,17	75,4	7 020	93	1,55	0,99		
3	G	H3D T832 G U 3 10 ^{1,2,4}	240	0,31	1,17	76,5	7 020	92	1,53	0,98		
			277	0,28	1,17	76,9	7 020	91	1,52	0,97		
			120	0,83	1,00	99,6	9 000	90	1,00	0,96		
			240	0,40	1,00	96,0	9 000	94	1,04	1,00		
			277	0,37	1,00	102,5	9 000	88	0,98	0,94		
			120	0,95	1,17	114,0	10 530	92	1,03	0,99		
3	G	H3D T832 G U 3 17 ^{1,4}	240	0,47	1,17	112,8	10 530	93	1,04	1,00		
			277	0,41	1,17	113,6	10 530	93	1,03	0,99		

(Continúa en la página siguiente.)

Notas

- 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: UH3D T832 C U 1 10).
- Se encuentran disponibles modelos con la certificación NOM. Agregue una "N" al sufixo del número de modelo al realizar el pedido (por ejemplo: H3D T832 C U 1 10N).
- Los números reales pueden variar de acuerdo con el modelo de la lámpara. Consulte al fabricante de la lámpara para obtener los datos específicos.
- 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**.

CLUTRON DOCUMENTO DE ESPECIFICACIONES

Página 4

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

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	Watts 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 ² (lm)	Eficacia del sistema ² (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 GU3 10 ²	120	0.83	1.00	99.6	9000	90	1.00	0.96
					240	0.40	1.00	96.0	9000	94	1.04	1.00
					277	0.37	1.00	102.5	9000	88	0.98	0.94
		3	G	H3 T832 GU3 17 ²	120	0.95	1.17	114.0	10,530	92	1.03	0.99
					240	0.47	1.17	112.8	10,530	93	1.04	1.00
					277	0.41	1.17	113.6	10,530	93	1.03	0.99
		3	G	H3 T832 GU3 C85 ²	120	0.75	0.85	90.0	7650	85	0.94	0.91
					240	0.37	0.85	88.8	7650	86	0.96	0.92
					277	0.32	0.85	88.6	7650	86	0.96	0.92

Notas

- Los números reales pueden variar de acuerdo con el modelo de la lámpara. Consulte al fabricante de la lámpara para obtener los datos específicos.
- Los modelos para California solo están disponibles con un control de 3 cables. En un control EcoSystem use con un C5-BMF-2A.

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

Anexo 3. 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 4. PANLED



iluminación
S.A. DE C.V.

FICHA TÉCNICA
PANLED3-36-E5-NW

CARACTERÍSTICAS

MONTAJE

Empotrar en plafón reticular, empotrar en plafón corrido de tablanoca, suspender ó sobreponer (para los últimos tres tipos se requieren accesorios adicionales opcionales)

CUERPO

Perimetral fabricado en aluminio extruido y housing en acero de primera calidad

ACABADO

Pintura políster en polvo de aplicación electrostática secado al horno color blanco

DIFUSOR

Poliestireno opalino

DATOS TÉCNICOS

Panel de LED de bajo peralte, backlite

Consumo nominal:	40W		
Temperatura de color (seleccionable) y flujo luminoso:	75W	4000	LM
Ángulo de apertura:	120°		
IRC:	≥ 80		
CP:	≥ 0.9		
Distorsión de armónicos:	≤ 20%		
Voltaje de operación:	100-240V (50 HZ) con driver integrado		
Temperatura mínima de operación:	-30°C		
Temperatura máxima de operación:	+40°C		
Vida útil:	25 000 horas L70/B50		
Accesorios opcionales disponibles:	GSP (sistema de suspensión ajustable de acero) Ext (batería de emergencia) DMT (driver atenuable 0-10V) MPL (con marco para sobreponer) TD (con traseal para plafón de tabla roca)		

APLICACIONES


OFICINAS


HOSPITALES


ESCUELAS


COMERCIOS


ÁREAS ABIERTAS EN GENERAL





PARA SOLICITAR EL MODELO REQUERIDO UTILIZAR LAS SIGUIENTES INDICACIONES

PANLED

-

3

-

36

-

E5

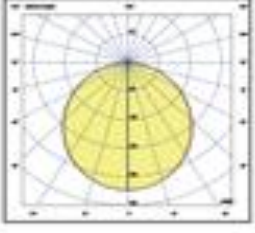
-

NW

DIMENSIONES



FOTOMETRIA



 Prosperidad No. 217
Col. Agrícola Pantitlán,
México, D.F. Alcaldía Iztacalco
C.P. 06100

 55-51-15-02-35

 contacto@iluminacion.com.mx


f


y


i


t

www.iluminacion.com.mx
 FORVENC 1-01-03.01


NOM


ISO 9001:2015
CERTIFIED


ANCE

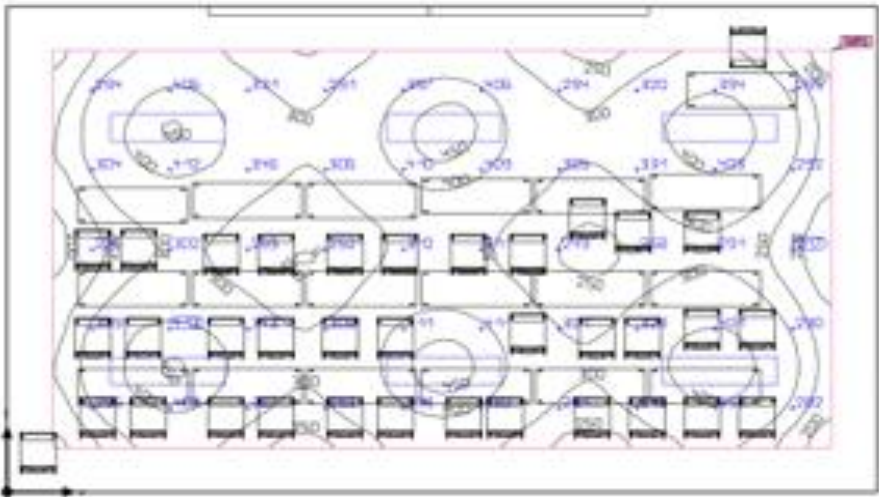
Anexo 5. Archivo generado por DIALux evo de salones

Aula

DIALux

Edificación - Edificio B - Salón (Escena de luz 1)

Resumen



Base	52.25 m ²
Grado de reflexión	Techo: 61.7 % Paredes: 65.6 % Suelo: 34.2 %
Factor de degradación	0.80 (Global)

Altura interior del local	3.000 m – 4.000 m
Altura de montaje	2.700 m
Altura Plano-01	0.800 m
Zona marginal Plano-01	0.500 m

Edificación - Edificio B - Salón (Escena de luz 1)

Resumen

Resultados

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{perpendicular}}$	327 lx	≥ 300 lx	✓	WP1
	U_e (g)	0.53	≥ 0.50	✓	WP1
	Potencia específica de conexión	4.27 W/m ²	–		
		1.62 W/m ² /100 lx	–		
Evaluación del deslumbramiento ⁽¹⁾	$R_{\text{ag,ave}}$	18	≤ 19	✓	
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	[192 - 319] kWh/a	máx. 1.850 kWh/a	✓	
Área	Potencia específica de conexión	4.59 W/m ²	–		
		1.40 W/m ² /100 lx	–		

(1) Iluminado en un espacio rectangular de 8.500 m x 5.500 m y SHR de 0.35.

(2) Calculado mediante la eval. ener.

Perfil de uso: Instrucciones de formación - Centros de formación (sólo Aula - Actividades generales)

Lista de luminarias

Unid.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	R_{ag}	P	Φ	Rendimiento lumínico
6	TRILUX	ArmoRe G3 Act M57 PW19 42-8 ETDD8 + ArmoRe G3 Sky M57-TS ZIR (ActDRW) ETDD8	ArmoRe	18	40.0 W	4300 lm	105.0 lm/W

Proyecto

DIALux

Edificación 1 - Cubículo E-133 - Cubículo (Escena de luz 1)

Resumen



Base	12.60 m ²	Altura interior del local	2.500 m – 3.500 m
Grado de reflexión	Techo: 70.0 %, Paredes: 51.0 %, Suelo: 20.0 %	Altura de montaje	2.500 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	Altura plano lab	0.800 m
		Zona marginal <i>Plano lab</i>	0.450 m

Edificación 1 - Cubículo E-133 - Cubículo (Escena de luz 1)

Resumen

Resultados

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{perpendicular}}$	337 lx	≥ 300 lx	✓	WP1
	U_0 (gr)	0.56	≥ 0.50	✓	WP1
	Potencia específica de conexión	11.54 W/m ²	–		
		3.43 W/m ² /100 lx	–		
Evaluación del deslumbramiento ⁽¹⁾	$R_{\text{gl, max}}$	15	≤ 19	✓	
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	[97 - 154] kWh/a	máx. 450 kWh/a	✓	
Área	Potencia específica de conexión	6.35 W/m ²	–		
		1.88 W/m ² /100 lx	–		

(1) Basado en un espacio rectangular de 3.000 m x 4.200 m y altura de 3.35 m.
(2) Calculado mediante la eval. ener.
Perfil de uso: Instrucciones de formación - Centros de formación (5.36.20 Sala de profesores)

Lista de luminarias

Unid.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	R_{gl}	P	Φ	Rendimiento luminoso
2	TRILUX	ArimoRe G2 Act MS7 PW19 42-II ETDC8 + ArimoRe G2 Sky MB7-TS ZER (ActDWW) ETDC8	ArimoRt	15	40.0 W	4300 lm	105.0 lm/W

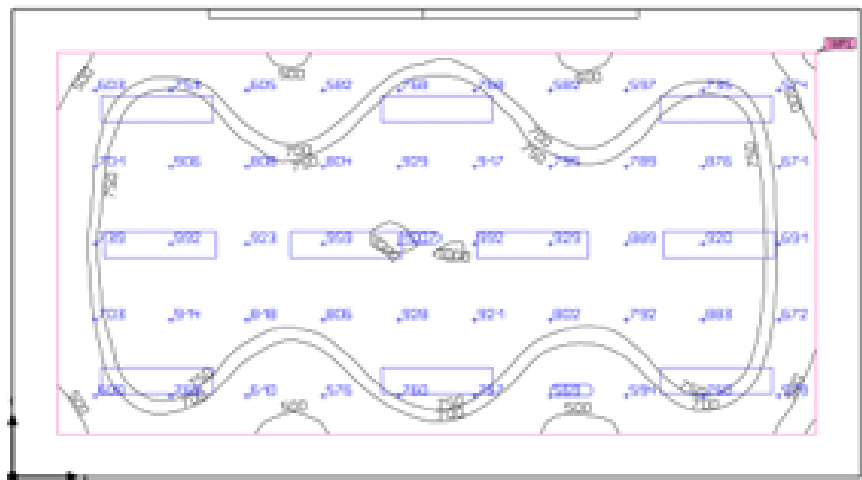
Anexo 7. Archivo generado por DIALux evo de laboratorios, talleres, aulas de cómputo y biblioteca

Tall. y Lab.

DIALux

Edificación - Tall. y Lab. - Aula (Escena de luz 1)

Resumen



Base	52.25 m ²	Altura interior del local	3.000 m – 4.000 m
Grado de reflexión	Techo: 81.7 %, Paredes: 65.6 %, Suelo: 34.2 %	Altura de montaje	2.649 m – 2.751 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	Altura Plano de 0	0.800 m
		Zona marginal Plano de 0	0.500 m

Edificación - Tall. y Lab. - Aula (Escena de luz 1)

Resumen

Resultados

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{perpendicular}}$	70.5 lx	≥ 500 lx	✓	WF1
	$U_a \text{ [g/l]}$	0.51	≥ 0.50	✓	WF1
	Potencia específica de conexión	10.46 W/m ²	–		
		1.37 W/m ² /100 lx	–		
Evaluación del deslumbramiento ⁽¹⁾	$R_{\text{gl, max}}$	18	≤ 19	✓	
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	[549 - 500] kWh/a	máx. 1.850 kWh/a	✓	
Área	Potencia específica de conexión	7.66 W/m ²	–		
		1.00 W/m ² /100 lx	–		

(1) Basado en un espacio rectangular de 8.500 m² x 5.500 m y 1049 de 0.35.

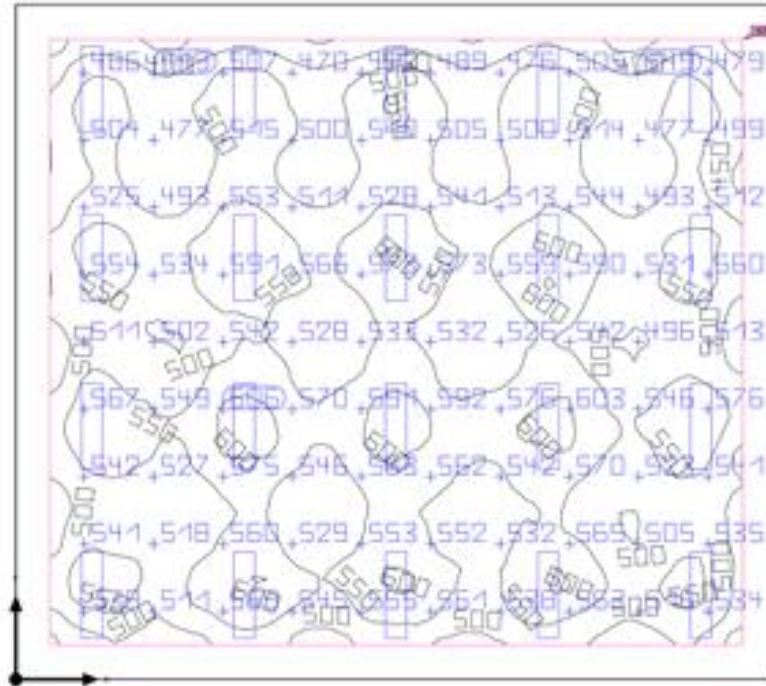
(2) Calculado mediante la eval. ener.

Perfil de uso: Instrucciones de formación - Centros de formación (5.96.11 Escuela taller)

Lista de luminarias

Unid.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	R_{gl}	P	Φ	Rendimiento lumínico
10	TRILUX	ArmoFit G3 Act M57 PW19 42-B ETDD8 + ArmoFit G3 Sky M57-T5 ZER (ActiWW) ETDD8	ArmoFit	18	40.0 W	4300 lm	105.0 lm/W

Edificación 1 - Laboratorio - Laboratorio (Escena de luz 1)

Resumen

Baum	100.76 m²	Altura interior del local	4.000 m - 5.408 m
Grado de reflexión	Techo: 70.0 % Paredes: 66.7 % Suelo: 71.2 %	Altura de montaje	2.800 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	Altura parcial	0.800 m
		Zona marginal (Parcial)	0.500 m

Edificación 1 · Laboratorio · Laboratorio (Escena de luz 1)

Resumen

Resultados

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{horizontal}}$	530 lx	≥ 500 lx	✓	[RP1]
	$U_a \text{ (g)}$	0.71	≥ 0.50	✓	[RP1]
	Potencia específica de conexión	8.91 W/m ²	–		
		1.68 W/m ² /100 lx	–		
Evaluación del deslumbramiento ⁽¹⁾	$R_{a, \text{max}}$	18	≤ 19	✓	
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	[1099 - 1800] kWh/a	máx. 3850 kWh/a	✓	
Área	Potencia específica de conexión	7.29 W/m ²	–		
		1.37 W/m ² /100 lx	–		

(1) Iluminado en un espacio rectangular de 11.200 m x 9.800 m y SHR de 0.25.

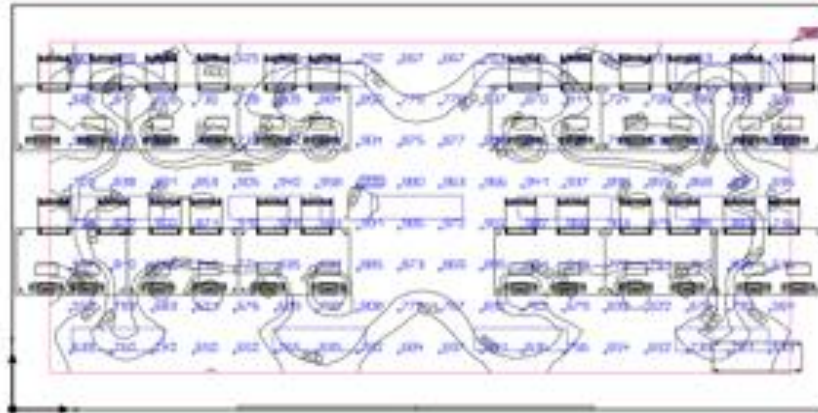
(2) Calculado mediante la eval. ener.

Perfil de uso: Instrucciones de formación · Centros de formación (5.36.11 Escuelas taller)

Lista de luminarias

Unid.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	$R_{a,0}$	P	Φ	Rendimiento luminoso
20	TRILUX	ArmoRt G2 Act M57 PW19 42-B ETDO8 + ArmoRt G2 Sky M57-T5 ZIR (Act/IRW) ETDO8	ArmoRt	18	40.0 W	4300 lm	105.0 lm/W

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Aula de cómputo (Escena de luz 1)

Resumen

Base	60.50 m ²	Altura interior del local	2.970 m - 5.000 m
Grado de reflexión	Techo: 70.0 % Paredes: 66.4 % Suelo: 20.0 %	Altura de montaje	2.700 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	Altura Plano de 0	0.800 m
		Zona marginal Plano de 0	0.500 m

Edificación 1 - Planta (nivel) 1 - Aula de cómputo (Escena de luz 1)

Resumen

Resultados

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{perpendicular}}$	772 lx	≥ 500 lx	✓	WF1
	U_a (g)	0.61	≥ 0.50	✓	WF1
	Potencia específica de conexión	11.56 W/m²	–		
		1.50 W/m²/100 lx	–		
Evaluación del deslumbramiento ⁽¹⁾	$R_{a0,max}$	17	≤ 19	✓	
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	692 kWh/a	máx. 2150 kWh/a	✓	
Área	Potencia específica de conexión	8.60 W/m²	–		
		1.11 W/m²/100 lx	–		

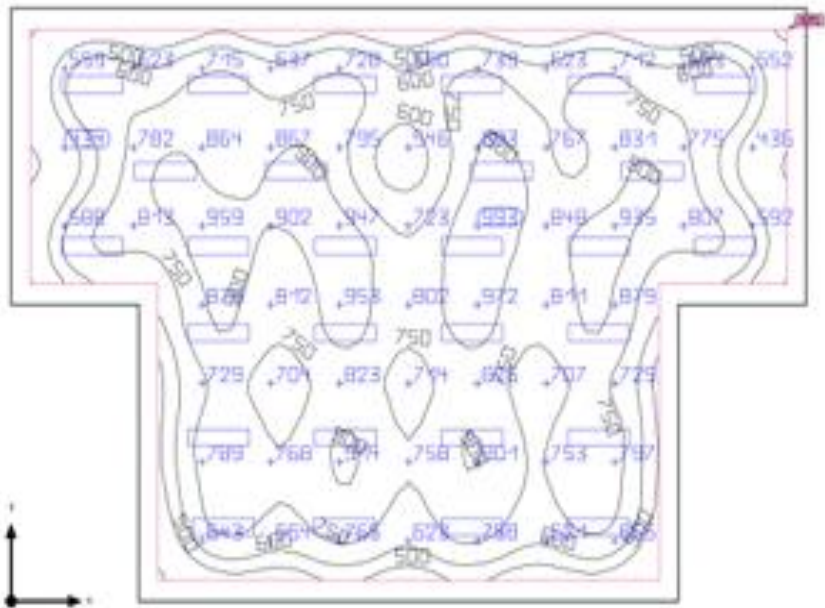
(1) y basado en un espacio rectangular de 11.000 m x 5.500 m y S-H de 0.25.
(2) Calculado mediante la eval. ener.
Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación (5.36.1 Aulas, salas de enseñanza)

Lista de luminarias

Unid.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	R_{a0}	P	Φ	Rendimiento lumínico
13	TRELIX	ArmoRe G2 Act M57 PW19 42-II ETD08 + ArmoRe G2 Sky MS7-T5 ZER (Act DWW) ETD08	ArmoRe	17	40.0 W	4200 lm	105.0 lm/W

Edificación 1 - Planta (nivel) 1 - Local 1 (Escena de luz 1)

Resumen



Base	149.80 m ²	Altura interior del local	3.000 m - 5.000 m
Grado de reflexión	Techo: 74.2 % Paredes: 67.3 % Suelo: 20.0 %	Altura de montaje	2.700 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	Altura Plano Cel.	0.800 m
		Zona marginal Plano Cel.	0.300 m

Edificación 1 - Planta (nivel) 1 - Local 1 (Escena de luz 1)

Resumen

Resultados

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{horizontal}}$	737 lx	≥ 500 lx	✓	[RP]
	$U_a \text{ [g]}$	0.39	≥ 0.60	✗	[RP]
	Potencia específica de conexión	8.68 W/m ²	-		
		1.18 W/m ² /100 lx	-		
Evaluación del deslumbramiento ⁽¹⁾	$R_{\text{gl,max}}$	18	≤ 19	✓	
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	25.20 kWh/a	máx. 5250 kWh/a	✓	
Área	Potencia específica de conexión	7.49 W/m ²	-		
		1.02 W/m ² /100 lx	-		

(1) Iluminado en un espacio rectangular de 11.000 m² a 16.200 m² y 94R de 0.25.
(2) Calculado mediante la eval. ener.

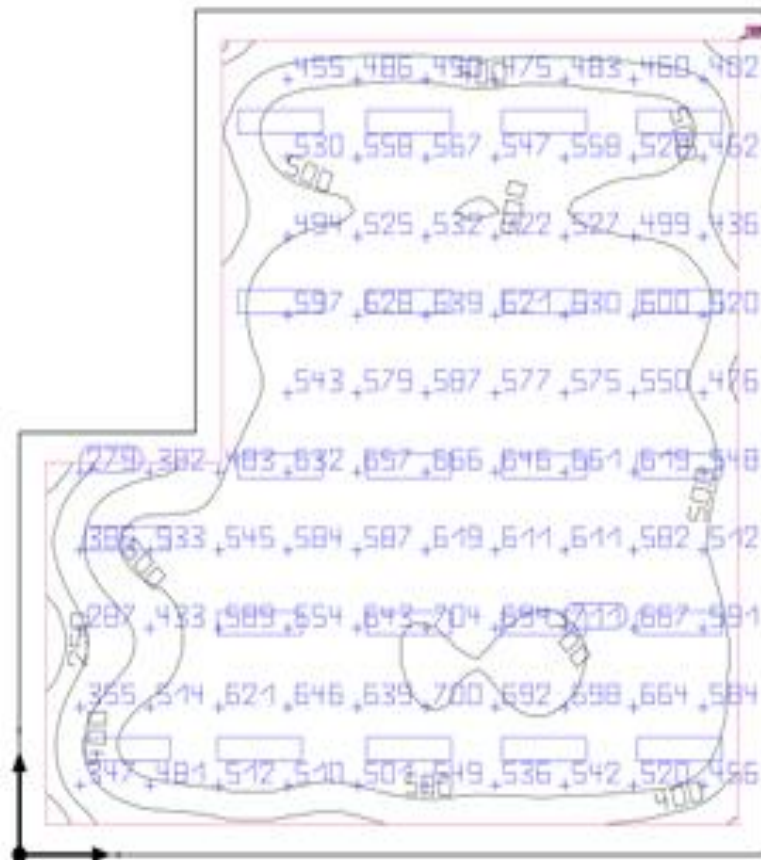
Perfil de uso: Instrucciones de formación - Centros de formación (5 de 11 Escuelas taller)

Lista de luminarias

Unid.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	R_{gl}	P	Φ	Rendimiento lumínico
28	TRILUX	ArmoRt G2 Act M57 PW19 42-8 ETDO8 + ArmoRt G2 Sky M57-T5 ZER (ActDWW) ETDO8	ArmoRt	18	40,0 W	4200 lm	105,0 lm/W

Edificación 1 - Planta (nivel) 1 - Local 1 (Escena de luz 1)

Resumen



Base	106.70 m ²	Altura interior del local	3.000 m - 5.000 m
Grado de reflexión	Techo: 74.2 % Paredes: 67.3 % Suelo: 30.0 %	Altura de montaje	2.700 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	Altura Plano del	0.800 m
		Zona marginal Plano del	0.390 m

Edificación 1 - Planta (nivel) 1 - Local 1 (Escena de luz 1)

Resumen

Resultados

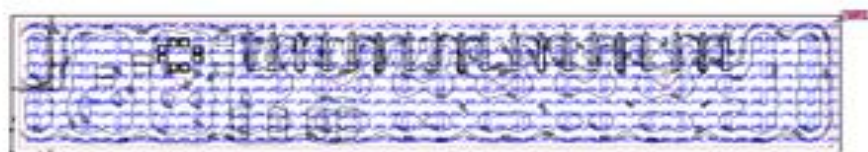
	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{horizontal}}$	545 lx	≥ 500 lx	✓	W P1
	U_0 (gr)	0.39	≥ 0.60	✗	W P1
	Potencia específica de conexión	9.76 W/m ²	-		
		1.79 W/m ² /100 lx	-		
Evaluación del deslumbramiento ⁽¹⁾	$R_{\text{gl, max}}$	18	≤ 19	✓	
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	1980 kWh/a	máx.: 3750 kWh/a	✓	
Área	Potencia específica de conexión	8.25 W/m ²	-		
		1.51 W/m ² /100 lx	-		

(1) Iluminado en un espacio rectangular de 11.000 m² a 11.000 m y 9-40 de 0.35.
(2) Calculado mediante la eval. ener.
Perfil de uso: Instrucciones de formación - Centros de formación (5.35.11 Escuelas taller)

Lista de luminarias

Unid.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	R_{gl}	P	Ø	Rendimiento lumínico
22	TRILUX	ArmoRt G2 Act M57 PW19 42-B.ETDD8 + ArmoRt G2 Sky M57-T5 ZER (ActDWW) ETDD8	ArmoRt	18	40.0 W	4300 lm	105.0 lm/W

Edificación 1 - Planta (nivel) 1 - Local 1 (Escena de luz 1)

Resumen

Base	605.00 m ²	Altura interior del local	2.850 m - 5.000 m
Grado de reflexión	Techo: 70.0 % Paredes: 52.1 % Suelo: 20.0 %	Altura de montaje	2.700 m - 2.810 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	Altura Puntos Luz	0.800 m
		Zona marginal Puntos Luz	0.500 m

Edificación 1 - Planta (nivel) 1 - Local 1 (Escena de luz 1)

Resumen

Resultados

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{perpendicular}}$	412 lx	≥ 500 lx	✗	[B P1]
	U_a [gr]	0,076	≥ 0,60	✗	[B P1]
	Potencia específica de conexión	5,04 W/m ²	–		
		1,22 W/m ² /100 lx	–		
Evaluación del deslumbramiento ⁽¹⁾	R_{glare}	18	≤ 19	✓	
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	9792 kWh/a	máx. 21300 kWh/a	✓	
Área	Potencia específica de conexión	4,50 W/m ²	–		
		1,09 W/m ² /100 lx	–		

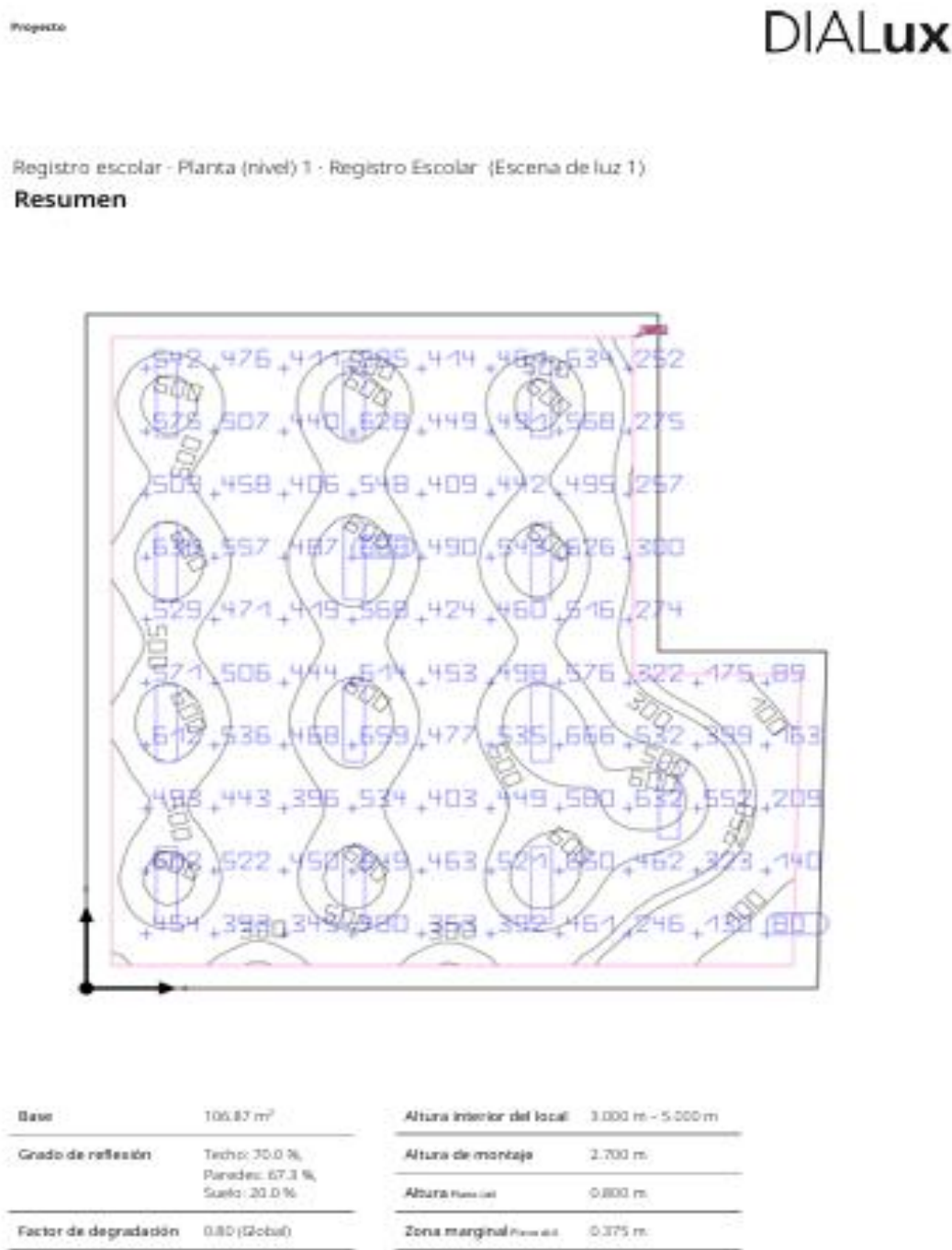
(1) Basado en un espacio rectangular de 95.000 m² a 11.000 m y SHR de 0,35.
 (2) Calculado mediante la eval. ener.

Perfil de uso: Áreas públicas - Bibliotecas (5.31.3 Bibliotecas: Áreas de lectura)

Lista de luminarias

Unid.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	R_{glare}	P	Φ	Rendimiento lumínico
68	TRILUX	ArmoRe G3 Act M57 PW19 42-II ETDD8-+ ArmoRe G3 Sky M57-T5 ZER (ActDWW) ETDD8	ArmoRt	18	40,0 W	4200 lm	105,0 lm/W

Anexo 8. Archivo generado por DIALux evo de áreas administrativas



Registro escolar - Planta (nivel) 1 - Registro Escolar (Escena de luz 1)

Resumen

Resultados

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{perpendicular}}$	466 lx	≥ 300 lx	✓	WF1
	$U_a \text{ (gl)}$	0.14	≥ 0.50	✗	WF1
	Potencia específica de conexión	5.72 W/m²	–		
		1.23 W/m²/100 lx	–		
Evaluación del deslumbramiento ⁽¹⁾	$R_{\text{gl,max}}$	18	≤ 19	✓	
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	692 kWh/a	máx. 3750 kWh/a	✓	
Área	Potencia específica de conexión	4.87 W/m²	–		
		1.05 W/m²/100 lx	–		

(1) Iluminado en un espacio rectangular de 11.000 m x 11.000 m y 6-Hi de 0.15
(2) Calculado mediante la eval. ener.
Perfil de uso: Instrucciones de formación - Centros de formación (5.06.1 Aulas, salas de seminarios)

Lista de luminarias

Unid.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	R_{gl}	P	Φ	Rendimiento lumínico
13	TRILUX	ArmoRt G2 Act MS7 PW19 43-B ETDOB + ArmoRt G2 Sky MS7-TS ZIR (ActDWW) ETDOB	ArmoRt	18	40.0 W	4200 lm	105.0 lm/W

Edificación 1 - Aula multimedia - Aula multimedia (Escena de luz 1)

Resumen

Base	103.40 m²	Altura interior del local	3.000 m – 4.820 m
Grado de reflexión	Techo: 70.0 % Paredes: 66.5 % Suelo: 71.2 %	Altura de montaje	2.700 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	Altura Fiebre (m)	0.800 m
		Zona marginal (Punto de L)	0.500 m

Resumen

Resultados

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{superficie útil}}$	501 lx	≥ 500 lx	✓	WP1
	$U_a \text{ (g)}$	0.37	≥ 0.50	✗	WP1
	Potencia específica de conexión	5.99 W/m ²	–		
		1.20 W/m ² /100 lx	–		
Evaluación del deslumbramiento ⁽¹⁾	$R_{\text{AG,ave}}$	18	≤ 19	✓	
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	[764 - 1080] kWh/a	máx. 3650 kWh/a	✓	
Área	Potencia específica de conexión	4.64 W/m ²	–		
		0.93 W/m ² /100 lx	–		

(1) Basado en un espacio rectangular de 10.835 m x 5.650 m y 5.88 de 0.25.

(2) Calculado mediante la eval. ener.

Perfil de uso: Instrucciones de formación - Centros de formación (5.26.11 Escuelas taller)

Lista de luminarias

Unid.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	R_{AG}	P	Φ	Rendimiento lumínico
12	TRILUX	ArmoFit G2 Act M57 PW19 42-B ETDCB + ArmoFit G2 Sky M57-TS ZIR (Act DWW) ETDCB	ArmoFit	18	40.0 W	4300 lm	105.0 lm/W