UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL CONFORT VISUAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS LUMINARIAS EN SALONES DE CLASES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

PRESENTADO POR:

GARCÍA GUEVARA, FRANCISCO SAÚL

NOSTHAS DÍAZ, EDUARDO JOSÉ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

M. SC. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARÍA GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR INTERINO

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título

DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL CONFORT VISUAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS LUMINARIAS EN SALONES DE CLASES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Presentado por:

GARCÍA GUEVARA, FRANCISCO SAÚL
NOSTHAS DÍAZ, EDUARDO JOSÉ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor

DR. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ

SAN SALVADOR, JULIO DE 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor

DR. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha jueves 4 de julio de 2024, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 10:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle
   Director Interino

   Firma

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
   Secretario Interino

   Firma

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMENEZ
  (Docente Asesor)

  Firma

- MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS

  Firma

- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNANDEZ

  Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL CONFORT VISUAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS LUMINARIAS EN SALONES DE CLASES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

A cargo de los Bachilleres:

- ✓ GARCIA GUEVARA FRANCISCO SAÚL
- ✓ NOSTHAS DÍAZ EDUARDO JOSÉ

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.2
(Nueve punto dos -

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a las siguientes personas por su colaboración e interés en este trabajo de graduación. Por su asistencia académica al Dr. Carlos Osmín Pocasangre Jiménez, asesor de nuestro trabajo de graduación; por su experiencia, comprensión y paciencia que contribuyeron a nuestra experiencia en el desarrollo de esta investigación. En segundo lugar, al jefe de la unidad de planificación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura MSc. Ricardo Amed Guardado Hernández por facilitar el ingreso a las instalaciones de interés permitiéndonos completar una parte fundamental de este trabajo. También expresamos nuestros agradecimientos por todo el apoyo brindado por el personal docente y administrativo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, especialmente a Reinita con la cual pudimos convivir y aprender de ella, gracias por siempre estar dispuesta a brindarnos una mano ante cualquier situación.

DEDICATORIA

Este trabajo de grado se lo dedico a toda mi familia, en especial a mi padre Saúl García, que en paz descanse, que siempre me apoyó y fue un guía para mí desde que yo estaba pequeño, él me motivó a estudiar esta carrera por lo que estoy feliz por haber conseguido este logro; además, agradezco a mi madre Verónica de García que siempre me apoyó durante todo el proceso, también a mi hermana Melissa García que me ayudó mientras yo realizaba esta investigación. Por último, agradezco a todas las personas que confiaron en mí y me apoyaron en todo el proceso.

-Francisco Saúl García Guevara

DEDICATORIA

El poder llegar hasta este momento es una alegría, que sin el apoyo de personas muy importantes este camino hubiera sido imposible. A mis padres Carlos Nosthas y Sandra de Nosthas, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus sabios consejos, que han sido fundamentales para la culminación de este grado académico, agradezco en gran manera todo lo que me han dado y como me han ayudado a crecer y ser mejor. A mis hermanos Gabriela y Daniel con quienes he compartido cada momento de mi vida y he podido contar con ellos, aprecio los consejos, risas, peleas y cada cosa que hemos vivido juntos. A mi abuela Bertha que en paz descanse que nunca dudo de que iba a terminar esta etapa de mi vida y que espero que pueda ver desde el cielo. A mi novia, Krissia Cortez, y amigos, por su comprensión y paciencia durante los momentos difíciles, y por celebrar conmigo cada logro. A mi compañero de trabajo de graduación, Saúl García, con muchos años de amistad y noches de desvelo logramos terminar este proyecto. A todas aquellas personas que, de una manera u otra manera han contribuido a que este trabajo sea una realidad aprecio todo el apoyo brindado.

-Eduardo José Nosthas Díaz

TABLA DE CONTENIDO

Resumen 19

Introducción 20

CAPÍTULO 1 22

1.1. Planteamiento del problema 22

1.2. Antecedentes y justificación 23

1.2.1. Antecedentes 23

1.2.2. Justificación 25

1.3. Objetivos 26

1.3.1. General 26

1.3.2. Específicos 26

1.4. Alcances 27

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 28

2.1. Historia 28

2.2. Normativa legal 32

2.2.1 CIE S 008/E-2001 32

2.2.2 UNE-EN 12464-1 33

2.2.3 Decreto 89 “Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo” 35

2.2.4 UNE- EN 15193 37

2.3. Base teórica 38

2.3.1. Confort visual 38

2.3.1.1. Problemas visuales 38

2.3.1.2. Generalidades de la Luz 39

2.3.1.3. La luz y la superficie de los objetos 40

2.3.1.4. Magnitudes fotométricas 44

2.3.1.5. Leyes fundamentales 48
2.3.1.6. Conceptos de iluminación 50
2.3.2 Eficiencia energética 55
2.3.2.1 Eficiencia energética en la iluminación 56
2.3.2.2 Ahorro energético 56
2.3.2.3 Eficiencia energética de la instalación de iluminación 57
2.3.2.4 Tecnologías para iluminación 59
CAPITULO 3: METODOLOGIA 64
3.1 Matriz de consistencia 64
CAPITULO 4: ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS 66
4.1 Aspectos generales 66
4.1.1. Luminarias instaladas 68
4.2 Parámetros de estudio calculados 68
4.2.1 Método de la cuadrícula 68
4.2.2 Iluminancia promedio 71
4.2.3 Uniformidad (U) 72
4.2.4 Valor de eficiencia energética de iluminación (VEEI) 73
4.3 Análisis en DIALux 76
4.3.1 Construcción de simulación en DIALux Evo 77
4.3.2 Sistema de iluminación en DIALux 83
4.3.3 Resultados obtenidos en simulación DIALux 89
4.3.4 Tablas resumen de iluminación en edificios de clases B, C, D y auditorio Miguel Mármol en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UES 114
4.4 Comparación de parámetros lumínicos y de eficiencia energética calculados y simulados tomando en cuenta normativas 117

4.4.1 Comparación de datos lumínicos calculados y simulados tomando en cuenta normativas 117
4.4.2 Comparación de datos de eficiencia energética calculados y simulados tomando en cuenta normativas 126
4.4.3 Comparación de iluminancia promedio de los salones de clase antes y después de la remodelación 132
4.5 LENI 133
4.5.1 Valores de LENI calculados 133
4.5.2 Valores de LENI simulados 134
4.5.3 Valores de LENI de referencia 135
4.6 NEC 2023 135
4.7 Propuestas de mantenimiento 136
CAPITULO 5: CONCLUSIONES 138
BIBLIOGRAFÍA 141
ANEXOS 144
Anexo A- Especificación técnica del luxómetro 144
Anexo B- Ficha técnica de luminaria ligh-tec 2*4 72W 146
Anexo C- Tabla NEC 2023 con los valores de carga generales de iluminación. 147

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de características de los distintos tipos de lámparas.....29
Tabla 2. Tabla de valores de iluminación, límites de deslumbramiento y calidad de color según la CIE S008/E-2001 para edificios educativos.....33
Tabla 3 Tabla de valores de iluminación, límites de deslumbramiento y calidad de color según la UNE EN 12464-1 para edificios educativos. 34
Tabla 4. Tabla de valores de iluminación, límites de deslumbramiento y calidad de color en Zonas de circulación y áreas generales de interiores. 35
Tabla 5. Tabla de valores de iluminación, límites de deslumbramiento y calidad de color en Actividades industriales y artesanales.....36
Tabla 6. Tabla de valores de iluminación, límites de deslumbramiento y calidad de color en Oficinas. 37
Tabla 7.Valores de VEEI máximos según la normativa española DB HE Ahorro de energía. 59
Tabla 8. Especificaciones de desempeño típicas de diferentes tecnologías de luminarias. Fuente; (Organizacion de Naciones Unidas, 2016).....63
. Tabla 9. Matriz de consistencia. Fuente: Elaboración propia 65
Tabla 10. Dimensiones salón B11.....69
Tabla 11. Datos de iluminancia en salón B11.....70
Tabla 12. Resumen de método de la cuadricula en los salones del edificio B y auditorio Mármol. 71
Tabla 13. Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de tarea según norma UNE 12464-1 72
Tabla 14. Índice de uniformidad de los salones estudiados. 73
Tabla 15. Valor de Eficiencia Energética Instalada en los salones de estudio.....75
Tabla 16. Tabla resumen de parámetros lumínicos calculados. 76
Tabla 17. tabulación de resultados para auditorio miguel mármol. 113
Tabla 18. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio B con escena de luz diurna.....114
Tabla 19. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio B con escena de luz nocturna.....114

Tabla 20. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio C con escena de luz diurna.....115
Tabla 21. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio C con escena de luz nocturna.....115
Tabla 22. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio D con escena de luz diurna.....116
Tabla 23.Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio D con escena de luz nocturna.....116
Tabla 24. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Auditorio Miguel Mármol. 117
Tabla 25. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario diurno del edificio B con los límites establecidos por las normativas. 118
Tabla 26. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario nocturno del edificio B con los límites establecidos por las normativas. 120
Tabla 27. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario diurno del edificio C con los límites establecidos por las normativas. 121
Tabla 28. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario nocturno del edificio C con los límites establecidos por las normativas. 122
Tabla 29. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario diurno del edificio D con los límites establecidos por las normativas. 123
Tabla 30. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario nocturno del edificio D con los límites establecidos por las normativas. 124
Tabla 31. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario diurno del Auditorio Miguel Mármol con los límites establecidos por las normativas.....125
Tabla 32. Comparación de VEEI en horario diurno del edificio B con los límites establecidos por la normativa.....126
Tabla 33. Comparación de VEEI en horario nocturno del edificio B con los límites establecidos por la normativa. 127
Tabla 34. Comparación de VEEI en horario diurno del edificio C con los límites establecidos por la normativa.....128

Tabla 35. Comparación de VEEI en horario nocturno del edificio C con los límites establecidos por la normativa. 129
Tabla 36. Comparación de VEEI en horario diurno del edificio D con los límites establecidos por la normativa. 130
Tabla 37. Comparación de VEEI en horario nocturno del edificio D con los límites establecidos por la normativa. 130
Tabla 38. Comparación de VEEI de Auditorio Mármol con los límites establecidos por la normativa 131
Tabla 39. Comparación de iluminancia promedio antes y después de las remodelaciones en la FIA. 132
Tabla 40. Cálculo de valores LENI para edificio B y auditorio mármol. 134
Tabla 41.Resumen de valores de LENI obtenidos mediante DIALux para los edificios de clase. 135
Tabla 42. Valores de potencia sobre área para validación con valores mínimos del NEC en instalación eléctrica. 136

LISTA DE FIGURA

Ilustración 1. Evolución de las lámparas.....31
Ilustración 2. Espectro electromagnético 40
Ilustración 3. Reflexión.....41
Ilustración 4. Tipos de reflexión 42
Ilustración 5. Representación de Ley de Snell, donde n1 y n2 son índices de refracción de los medios 1 y 2 43
Ilustración 6. Ejemplo de absorción de los colores.....44
Ilustración 7. Representación de flujo luminoso.....45
Ilustración 8. Representación Intensidad luminosa, donde I es intensidad luminosa, Ω ángulo sólido y Φ flujo luminoso. 46
Ilustración 9. Representación flujo e intensidad luminosos.....46
Ilustración 10. Representación de 1 lx de iluminancia.....47
Ilustración 11. Representación de Luminancia. 48
Ilustración 12. Representación de la Ley inversa al cuadrado. 49
Ilustración 13. Representación Ley de coseno.....50
Ilustración 14. Escala de temperatura de color. 51
Ilustración 15. La temperatura de color y su influencia en actividades propias de la educación infantil. Fuente: (Vera Mazuelos & Muros Alcojor, 2021).....52
Ilustración 16. Temperaturas de color más comunes. 53
Ilustración 17. Luxómetro Ingco ING_HETLU01.....55
Ilustración 18. Salón B11 aún con materiales por remodelaciones en los salones de clase.....67
Ilustración 19. Características de panel LED instalado en salones de clase. 68
Ilustración 20. Foto de luxómetro cuando se realizó la medición en salón B11.....70
Ilustración 21.Simulación en DIALux de Edificio B de Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.....78
Ilustración 22. Inicio de aplicación DIALux.....78
Ilustración 23. Definición de locación y orientación del área de interés. 79
Ilustración 24. Establecimiento de las áreas en la etapa de construcción. 80

Ilustración 25. Definición de valores de tiempo de uso de salones en DIALux. 81
Ilustración 26. Definición de materiales en simulación de DIALux. 82
Ilustración 27. Lista parcial de empresas que tienen su catálogo lumínico con DIALux. 83
Ilustración 28. Sección de luminarias en DIALux. 84
Ilustración 29. Apartado de definición de propiedades de las luminarias en DIALux. 85
Ilustración 31.Escena de luz con luz diurna, cielo medio, sin atenuación y tomando todas las luminarias. 86
Ilustración 30.Escena de luz sin luz diurna, sin atenuación y tomando todas las luminarias. 86
Ilustración 32. Apartado de parámetros de cálculo, seleccionado UGR e iluminancia horizontal (iluminancia perpendicular es automático en planos útiles) 88
Ilustración 33. Configuración de los parámetros de estudio en DIALux. 88
Ilustración 34. Datos de potencia total instalada, área del local, potencia por el área de local y unidades de luminarias y su flujo luminoso en el salón B-11. 89
Ilustración 35. Distribución de luminarias B-11 y delimitación de plano útil y objeto de estudio en el local. 90
Ilustración 36. Resumen de datos relevantes para la simulación de salón B-11. 90
Ilustración 37. Simulación de Local B-11 con el cielo medio. 91
Ilustración 38. Isolíneas en el salón B-11 91
Ilustración 39.Ilustracion grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica. 92
Ilustración 40Valores obtenidos en simulación de local B-11 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad 92
Ilustración 41. Valor obtenido de UGR y las propiedades del estudio. 93
Ilustración 42. Simulación de Local B-11 con el cielo sin luz diurna. 93
Ilustración 43. Isolíneas en el salón B-11 94
Ilustración 44.Ilustracion grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica. 94
Ilustración 45Valores obtenidos en simulación de local B-11 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad 95
Ilustración 46. Datos de potencia total instalada, área del local, potencia por el área de local y unidades de luminarias y su flujo luminoso en el salón B-32. 95

Ilustración 47. Distribución de luminarias B-32 y delimitación de plano útil y objeto de estudio en el local. 96
Ilustración 48. Resumen de datos relevantes para la simulación de salón B-32. 96
Ilustración 49. Simulación de Local B-32 con el cielo medio. 97
Ilustración 50. Isolíneas en el salón B-32 97
Ilustración 51.Ilustracion grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica. 98
Ilustración 52Valores obtenidos en simulación de local B-32 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad 98
Ilustración 53. Valor obtenido de UGR y las propiedades del estudio. 99
Ilustración 54. Simulación de Local B-32 con el cielo sin luz diurna. 99
Ilustración 55. Isolíneas en el salón B-32 100
Ilustración 56.Ilustracion grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica. 100
Ilustración 57Valores obtenidos en simulación de local B-32 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad 101
Ilustración 58. Datos de potencia total instalada, área del local, potencia por el área de local y unidades de luminarias y su flujo luminoso en el salón B-41. 101
Ilustración 59. Distribución de luminarias B-41 y delimitación de plano útil y objeto de estudio en el local. 102
Ilustración 60. Resumen de datos relevantes para la simulación de salón B-11. 102
Ilustración 61. Simulación de Local B-41 con el cielo medio. 103
Ilustración 62. Isolíneas en el salón B-41 103
Ilustración 63.Ilustracion grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica. 104
Ilustración 64 Valores obtenidos en simulación de local B-41 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad 104
Ilustración 65. Valor obtenido de UGR y las propiedades del estudio. 105
Ilustración 66. Simulación de Local B-41 con el cielo sin luz diurna. 105
Ilustración 67. Isolíneas en el salón B-41 106

Ilustración 68.Ilustración grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica. 106
Ilustración 69Valores obtenidos en simulación de local B-41 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad 107
Ilustración 70. Datos de potencia total instalada, área del local, potencia por el área de local y unidades de luminarias y su flujo luminoso en auditorio mármol 107
Ilustración 71. Distribución de luminarias Auditorio Miguel mármol y delimitación de objeto de estudios en el local. 108
Ilustración 72. Demostración de modelo en DIALux de planos diferentes de trabajo en auditorio Miguel Mármol. 109
Ilustración 73. Resumen de datos relevantes para la simulación de salón Auditorio Miguel mármol. 110
Ilustración 74. Simulación de Auditorio Miguel Mármol con el cielo medio. 110
Ilustración 75. Isolíneas en el auditorio Miguel Mármol. 111
Ilustración 76. Colores falsos en 2D de auditorio Mármol. 112

Resumen

Esta investigación abordó el tema de la iluminación en los salones de clase más importantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, centrándose en el confort visual y eficiencia energética, debido a que los salones fueron remodelados por los XXIV Juegos Centroamericanos y del Caribe, del cual la universidad fue sede y algunos salones fueron remodelados para ser utilizados como dormitorios para los deportistas. Por lo que se decidió hacer un estudio para saber si los salones son óptimos para retomar la función principal de recibir clase.

El objetivo principal de la investigación fue evaluar las variables relevantes que afectan el confort visual y consumo de energía de las luminarias en dichos salones, como la intensidad de luz, el tamaño de los salones, la uniformidad de la luz, el deslumbramiento y el valor de eficiencia energética instalado, entre otros. Se planteó una metodología con enfoque mixto de alcance descriptivo y diseño analítico. El desarrollo de la perspectiva teórica se basó en la revisión de documentación académica.

De acuerdo con el análisis realizado se concluyó que las remodelaciones realizadas en la facultada debido a los juegos fueron beneficiosas para los salones de clase ya que se mejoraron muchos aspectos como lo es la iluminancia promedio, la uniformidad, el valor de eficiencia energética, entre otros; además, se verificó que las luminarias instaladas cumplieran con las normativas de iluminación del Reglamento general de prevención de riesgos en lugares de trabajo de El Salvador Decreto 89, la norma europea de iluminación de interiores UNE-EN 12464-1, entre otras. También se observó que la eficiencia energética de los salones actuales mejoró mucho gracias a la implementación de tecnología LED para la iluminación, esto trae consigo un menor gasto económico y la disminución del impacto medio ambiental.

Palabras claves: *Confort visual, eficiencia energética, salones de clase, iluminación, DIALux.*

Introducción

En el contexto educativo, los salones de clase desempeñan un papel fundamental en el proceso de aprendizaje. La calidad del ambiente en el que los estudiantes invierten una gran parte de su tiempo influye directamente en su bienestar, concentración y rendimiento académico. Por lo que es de suma importancia tener en cuenta el confort visual y de la mano de esta, deberíamos cuidar los recursos para el desempeño de esta por lo que la eficiencia energética es muy importante.

El confort visual está estrechamente relacionado con la iluminación, lo que conlleva al estudio de muchos parámetros lumínicos, los cuales se abordan en esta investigación. Una iluminación adecuada no solo permite una buena visibilidad, sino que también afecta la fatiga visual, la concentración y la productividad. El tipo de luminaria, su distribución en el espacio y la selección de colores influye en como percibimos el entorno. Por otro lado, la eficiencia energética puede ser definida en palabras simples como la reducción del consumo energético de sistemas, maquinarias o edificios, manteniendo la funcionalidad de los servicios y sin disminución de la calidad del servicio (Claudia & Fuquen Gonzalez, 2014). En el caso de salones de clase, esto implica diseñar sistemas de iluminación que minimicen el gasto energético sin sacrificar la comodidad de los usuarios. La adopción de tecnologías más eficientes y la gestión inteligente de los recursos pueden contribuir significativamente a la sostenibilidad y al ahorro económico. Por lo tanto, es esencial encontrar un equilibrio entre la cantidad de luz, su calidad y su eficiencia energética.

En esta investigación, se realizó un estudio de las condiciones actuales de los salones de clase de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, posterior a las remodelaciones debido a los XXIV Juegos Centroamericanos y del Caribe, San Salvador 2023, ya que la universidad fue sede de dichos juegos y algunos salones de clase fueron remodelados para ser utilizados como dormitorio para los deportistas, por lo que esta investigación busca verificar que la nueva iluminación de estos salones sea óptima para recibir clases, esto se logró haciendo comparación de cómo era anteriormente el estado de la iluminación en los salones de clase, por lo que se tomó como referencia investigaciones previas realizadas en la facultada (Cornejo Salvador, Escobar Romero, & Ramírez Mendoza, 2015); pero principalmente, se tomaron en cuenta los requisitos de iluminación establecidos por el Reglamento general de prevención de riesgos en lugares de trabajo de El Salvador Decreto 89, la norma europea de iluminación de interiores UNE-EN 12464-1, entre otras. Para conseguir el propósito principal de esta investigación se realizaron mediciones de campo de los parámetros

lumínicos de interés y se hizo uso del software especializado en iluminación DIALux, donde se realizaron simulaciones que permitieron hacer un estudio óptimo de los parámetros de interés.

Al finalizar la investigación se verificó si las actuales remodelaciones en la facultad beneficiaron a los estudiantes, maestros y trabajadores de la institución; además, se dieron a conocer aquellos aspectos que pueden mejorarse, en búsqueda de apoyar y maximizar el prestigio de la institución.

CAPÍTULO 1

1.1.Planteamiento del problema

En la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, la iluminación de los salones de clases ha sido renovada recientemente debido a su uso como alojamiento para los XXIV Juegos Centroamericanos y del Caribe, San Salvador 2023. En las renovaciones se hicieron tareas desde la pintura, saneamiento de las áreas, cambio de luminarias y readecuación de las áreas, entre otras hasta la construcción de nuevos edificios en el área circundante de la facultad.

Teniendo esto en cuenta, sabemos que se han instalado nuevos equipos lumínicos y se puede haber redistribuido la iluminación en los salones de clase. Esto implica un cambio importante del ambiente que estos salones proporcionan en la enseñanza y el impacto que este podría tener al desempeño o salud de los alumnos, además del consumo excesivo o ahorro energético que estas proporcionan. Esto hace necesario evaluar la eficacia de esta renovación en términos de consumo de energía y confort visual, ya que los salones volverán a su función original de centro de estudios superiores. Por lo tanto, surge la necesidad de desarrollar un modelo de simulación que permita evaluar y optimizar el rendimiento energético y el confort visual de las luminarias en los salones de clases de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

1.2. Antecedentes y justificación

1.2.1. Antecedentes

Cornejo Salvador, Escobar Romero, & Ramírez Mendoza (2015) realizaron un estudio del estado del sistema de iluminación en puestos laborales, puestos de estudio y desarrollo de prácticas que componen la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en el periodo de 22 de agosto de 2014 al 27 de marzo de 2015. En el trabajo se ven reflejados los resultados obtenidos de la muestra como así mismo una serie de reformas del sistema de iluminación de algunos de los locales que no cumplen con los valores mínimos de los parámetros luminotécnicos normados por el Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo de El Salvador Decreto 89 y la norma europea de iluminación de interiores UNE-EN 12464-1. Donde se especifican los niveles medios de iluminación en luxes por metro cuadrado de acuerdo con el área y la tarea a realizar.

Esta investigación ayudo en la comprensión de las diferentes normas en existencias y como su aplicación permite un desarrollo óptimo de distintas actividades además de proveer una protección en contra de daños humanos o económicos que pueden ser impuestos al no rectificar la situación si es necesario al no cumplir estos estándares. Los alcances presentados por este trabajo es el estudio de iluminación en salones de clase de los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, la metodología desarrollada para este trabajo de graduación incluye la medición de variables de iluminación en las áreas laborales (salones de clase, auditorios, oficinas, talleres o unidades productivas), para esta actividad se utilizó un luxómetro para poder realizar la medición de luxes en las áreas de interés. Identificación de la luminaria ocupada en cada una de estas áreas. Para posteriormente realizar una simulación de las condiciones utilizando el software DIALux y poder recalcar la eficiencia de estas para iluminar el entorno como es debido.

En esta investigación los resultados obtenidos fueron en general bastante inferiores a los estándares establecidos por el Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo de el salvador Decreto 89 y la norma europea UNE EN 12464-1. Debido a que la mayoría de los locales se encontraban en un estado de bajo mantenimiento teniendo luminarias de antigua tecnología operando por mucho más tiempo de su vida útil haciendo de este un sistema ineficiente energéticamente. A pesar de llegar a la conclusión que con un mantenimiento preventivo eficaz y realizar una corrección a las lámparas que encontraron al final de su vida útil se podría recobrar la iluminación correcta de las áreas nos deja abierta la baja eficiencia energética de tecnologías

anteriores. Esto nos da la apertura para realizar esta nueva investigación tomando en cuenta las remodelaciones realizadas debido a los XXIV Juegos Centroamericanos y del Caribe, San Salvador 2023, que no solo deberían corregir los valores de iluminación de los salones, sino que debería presentar una mejora en la eficiencia energética en general del sistema.

1.2.2. Justificación

Uno de los parámetros principales para el buen desarrollo de actividades es la iluminación adecuada para la tarea que se realiza, lo que, en ausencia de ésta, en lugares como oficinas, lugares de estudio, ambientes laborales, áreas de descanso pueden originar fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, estrés, accidentes y posturas inadecuadas, incidiendo principalmente en ámbitos de seguridad, confort y productividad de las personas, es por ello que se debe diseñar ambientes de estudio o trabajo adecuados para la visión (Cornejo Salvador, Escobar Romero, & Ramírez Mendoza, 2015).

Además, se debe tener en cuenta, la relación entre la iluminación y el consumo energético, pues se debe buscar tener la mayor eficiencia posible, lo que favorece aspectos tanto económicos como ambientales.

Es por esto, que se ha decidido realizar esta investigación para evaluar las condiciones actuales tomando en cuenta las mencionadas remodelaciones por los juegos Centroamericanos, ya que a pesar de que los cambios hayan sido en las áreas de trabajo y estudio de la universidad, estos cambios iban enfocados para hacer uso de las instalaciones como alojamiento temporal de los deportistas y colaboradores. Con lo cual lo que se busca con esta investigación es verificar que los salones de estudio cumplan las normas establecidas en el Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo de El Salvador decreto 89 y la norma europea de iluminación de interiores UNE-EN 12464-1. Además, hubo un cambio en la tecnología lumínica utilizada, esto conlleva a un cambio de los requerimientos energéticos de las luminarias que nos permite ser una entidad más amigable con el medio ambiente, esto también es algo de suma importancia en la actualidad con las crisis energéticas que se están viviendo.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Evaluar las variables relevantes que afectan el confort visual y el consumo de energía de las luminarias en los salones de clases de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, como la intensidad de luz, el tamaño de los salones, la uniformidad de la luz y el deslumbramiento, entre otros

1.3.2. Específicos

- Desarrollar modelos de simulación, en DIAlux, que permitan predecir el consumo de energía y el confort visual de las luminarias en las diferentes condiciones de iluminación en los salones de clases.
- Validar las simulaciones mediante la comparación de los resultados obtenidos en la recolección de datos reales en la medición de variables y los obtenidos con las simulaciones.
- Comparar los valores obtenidos en el muestreo con los recomendados en el decreto No 89 “Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo” con interés en los artículos 130 al 136 referente a iluminación y la norma europea de iluminación de interiores UNE-EN 12464-1.
- Proponer recomendaciones para la mejora del rendimiento energético y el confort visual de las luminarias en los salones de clases, basadas en los resultados obtenidos mediante los modelos de simulaciones.

1.4. Alcances

- Medición de variables lumínicas en los salones de clase más importantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, como lo son los edificios B, C, D y el auditorio Miguel Mármol.
- Con los datos obtenidos se construirán una serie de simulaciones de iluminación y consumos energéticos que se perciben en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura para validar la calidad de iluminación en salones de clase y el consumo energético que las luminarias actuales poseen y la carga económica que estas representan.
- Haciendo uso de las simulaciones se realizará una comparativa con los estándares y normativas vigentes en luminotecnia y eficiencia energética, a partir de estos resultados se ofrecerá un diagnóstico descriptivo de la situación actual asimismo se ofrecerán recomendaciones si son necesarias.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Historia

Para nadie es una duda que la luz eléctrica es uno de los avances tecnológicos más importantes en la historia de la humanidad, con el simple hecho de experimentar un apagón en nuestras casas nos queda claro este hecho.

La iluminación tiene su origen hace unos 20 mil años con el uso del fuego. Por mucho tiempo la iluminación no tuvo un avance tan significativo, hasta el final de la Edad Media cuando aparecieron las primeras lámparas portátiles que estaban hechas con aceite y una mecha que ayudaba a cumplir su función. Luego, se tuvo un gran avance en la iluminación con la llegada de la Revolución Industrial. La expansión de las jornadas laborales provocó la necesidad de mejorar las luminarias que se tenían en aquel entonces, lo que abrió puertas a las lámparas de gas, estas eran económicas y fueron el medio de iluminación más popular de las ciudades y barrios (Hernández, 2012).

En épocas posteriores, se utilizó la propiedad de incandescencia de los materiales, lo que llevó al desarrollo del primer bulbo incandescente. “Este tipo de lámpara, denominada también bombilla, fue la primera que se conoció, ya que fue inventada por Thomas Alva Edison, en 1879. Se denomina así ya que está formado por un filamento de tungsteno que se pone incandescente al paso de la corriente eléctrica, emitiendo luz” (Martínez Domínguez, 2003). Como bien es mencionado este tipo de lámparas son las primeras de las cuales se tiene conocimiento, no es de extrañar que al pensar en un bombillo uno de los principales referentes que se puede venir a la mente es el conocido científico Thomas Alva Edison. Se estima que la duración, en un principio, de este tipo de lámparas era de 40 horas, lo cual no era mucho pero ya significaba un gran avance en el área de la iluminación. Antes de este gran aporte de Edison, en las construcciones se buscaba maximizar la luz natural que proporciona el Sol durante el día, luego de este hallazgo se formalizó la luz eléctrica como un servicio público en 1880, con lo cual se comenzó a utilizar en actividades cotidianas, domésticas e industriales (Fundamentos de ergonomía, 2016), esto quiere decir que fue en esta época que se comenzó a utilizar la luz eléctrica en centros educativos, previo a este suceso se utilizaban los métodos de iluminación antes mencionados.

El siguiente tipo de lámpara que se comenzó a desarrollar fue la fluorescente, en 1936, estas utilizan las radiaciones enérgicas producidas por los electrones en movimiento a través de vapor de mercurio para producir luz, según explica (Martínez Domínguez, 2003). Esto quiere decir que la

lámpara fluorescente partió del principio de la lámpara de gas antes mencionada. Cabe destacar que las primeras lámparas fluorescentes no tenían mucho a su favor ya que eran costosas, grandes y frágiles, no fue hasta la época de los ochenta que su comercialización aumentó gracias a la introducción de las lámparas fluorescentes compactas (LFC).

Finalmente, la época de los noventa marca la llegada de los famosos diodos emisores de luz, mejor conocidos como LEDs, gracias a Nick Hooyak Jr., quien desarrolló el primer LED visible el cual emitía una tenue luz roja (Hernández, 2012). Pero ¿Qué es un LED?, según Fraile Vilarrasa & Gago Calderon (2012), "Es un dispositivo semiconductor que emite luz con una longitud de onda monocromática específica muy bien definida cuando se polariza de forma directa pasando, por tanto, una corriente eléctrica entre sus dos extremos". Luego del descubrimiento del desarrollo de la LED roja por Nick Hooyak Jr., se desarrollaron diferentes tipos de LEDs, de diferentes tamaños y colores, los cuales trabajan con diferentes niveles de tensiones según sus colores.

En la actualidad, se pueden encontrar desde lámparas incandescentes hasta lámparas LEDs, cabe mencionar que todas las tecnologías de iluminación antes mencionadas fueron mejorando a medida pasaron los años, por lo que aún es posible encontrar algunas de estas luminarias en el mercado. Pero como es de esperar las lámparas LEDs son la mejor opción de iluminación ya que tienen muchas características que son mejores que las otras tecnologías. A continuación, se muestra una tabla comparativa con algunas de las lámparas que aún se pueden encontrar en el mercado.

Tabla 1. Comparación de características de los distintos tipos de lámparas

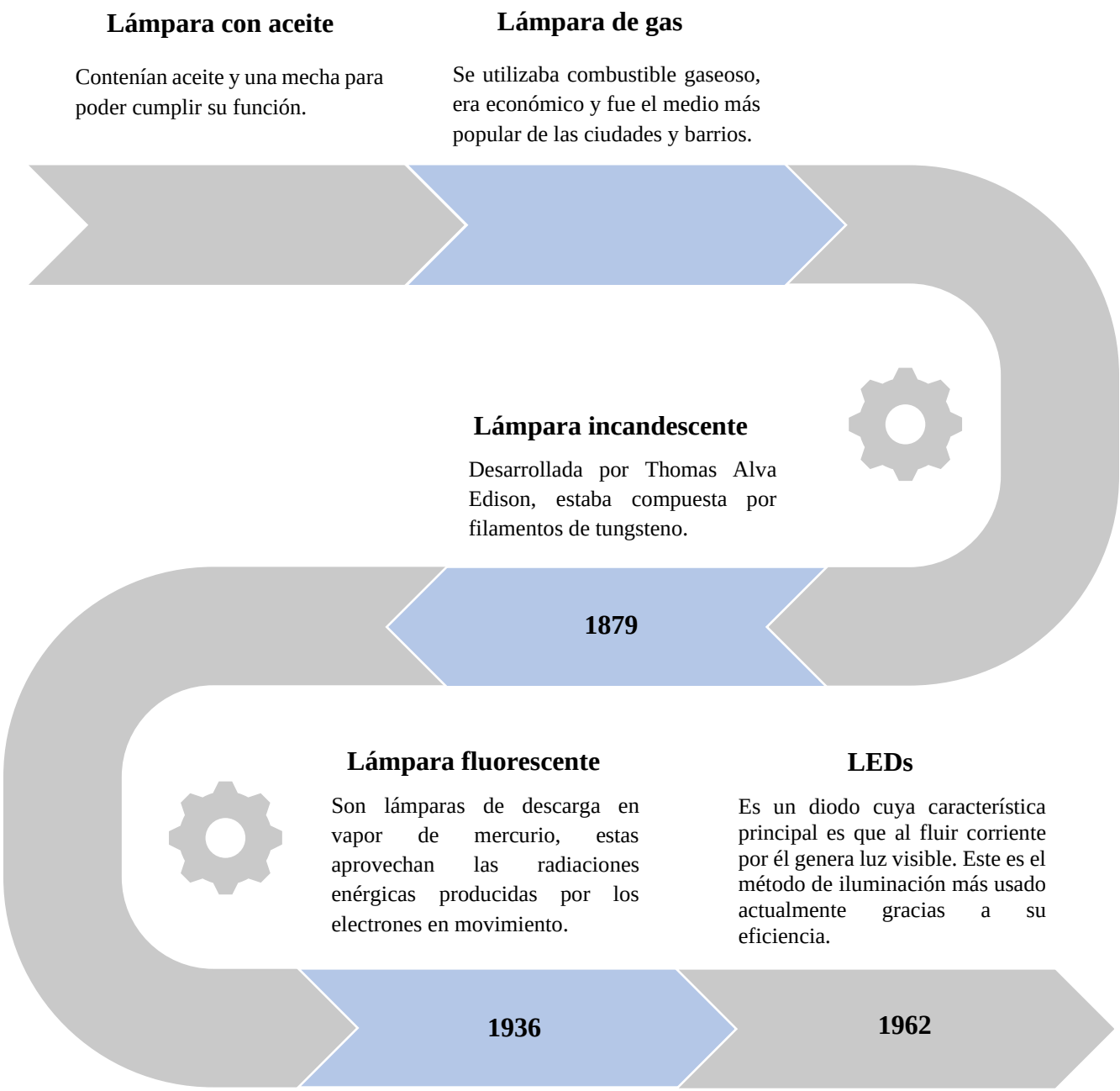
Tipo de lámpara	**Vida útil (h)**	**Eficacia (lm/W)**	**Encendido y Reencendido**	**Equipo auxiliar**
Incandescente/Halógenas	1000 - 3000	8 – 21	Instantáneo	No
Tubos fluorescentes	6000 - 15000	80 - 110	Instantáneo	Sí (balastro y cebador)
Fluorescente compacta	15000 - 30000	50 - 70	Instantáneo	Sí (balastro electrónico)
LEDs	15000 - 60000	70 - 95	Instantáneo	Sí, incorporado en luminaria

Fuente: Organización de las Naciones Unidas (2016)

Como se puede observar en la Tabla 1 las lámparas LEDs poseen las características más adecuadas en cuanto a iluminación, ya que estos poseen una mayor eficacia y poseen una mayor vida útil, lo que significa una gran ventaja en comparación con los otros métodos de iluminación descritos en la tabla, esto deja en claro porqué en la actualidad se opta más por este tipo de luminarias.

A manera de resumen, a continuación, se presenta una línea de tiempo con la evolución de iluminación y los hechos que marcaron cada una de ellas.

Ilustración 1. Evolución de las lámparas



Fuente: Elaboración propia

2.2. Normativa legal

La utilización de una normativa a la hora de diseñar un sistema de iluminación en espacios de estudio, trabajo o recreación es vital ya que de esta podemos estandarizar los niveles de iluminación de las áreas asegurando de esta manera los entornos de trabajo óptimos desde el punto de vista visual sin dejar de lado el aspecto energético. Existen una gran variedad de normativas ya sea desarrolladas por organismos reconocidos a nivel internacional como lo es la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) o a nivel regional como lo puede ser la Asociación Española de Normalización (UNE) que son las que tomaremos de base para realizar el análisis de confort visual de los salones de clases más importantes en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador. Asimismo, nos apoyaremos de la normativa local de nuestro país que aborda la iluminación, esta es el Decreto 89, Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo, que posee su propio apartado para el ámbito de iluminación.

2.2.1 CIE S 008/E-2001

Esta norma de la Comisión Internacional de Iluminación y de la Organización Internacional de Normalización, esta norma es también conocida como ISO 8995:2002, aborda diferentes factores a tomar en cuenta en la iluminación de áreas de trabajo para poder lograr una iluminación adecuada que ayude a tener una condición de trabajo y poder desempeñar el trabajo con bienestar y seguridad. Esta abarca niveles de iluminancia, calidad de la iluminación, el deslumbramiento (UGR), contraste de la iluminación con el fondo y lo más importante depende de los trabajos que se realicen. Además de esto los temas de uso de pantallas, uniformidad, uso de luz natural, mantenimiento, uso de energía y la distribución de la iluminación y valores de reflectancias útiles en paredes, techo, piso y plano de trabajo. También ofrece advertencia de efectos adversos al tener Flicker o los efectos estroboscópicos, que pueden ocasionar efectos adversos.

Tabla 2. Tabla de valores de iluminación, límites de deslumbramiento y calidad de color según la CIE S008/E-2001 para edificios educativos.

Tipo de interior, trabajo o actividad	**Em**	**UGR_l**	**Ra**	**Comentarios**
28. Edificios educacionales				
Sala de preescolar	300	19	80	
Aula de jardín de infantes	300	19	80	
Sala de manualidades de jardín de infantes	300	19	80	
Aulas y salas de tutoría	300	19	80	iluminación debería ser controlable.
Aula para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	
Auditorio	500	19	80	iluminación debería ser controlable.
Pizarra	500	19	80	Prevenir reflejos.
Mesa de demostración	500	19	80	En auditorios 750 lux
Salas de arte y manualidades	500	19	80	
Salones de arte en escuelas de arte	750	19	80	Tcp>5000K
Salas de dibujo técnico	750	16	80	
Salas prácticas y laboratorios	500	19	80	
Talleres de enseñanza	500	19	80	
salas de practica de música	300	19	80	
Salas de practica de computación	500	19	80	Para trabajo en EPV, ver clausula 4.10.
Laboratorio de idiomas	300	19	80	
Salas de preparación y talleres	500	22	80	
Salas comunes para estudiantes y salones de actos	200	22	80	
Salas de profesores	300	22	80	
Pabellones deportivos, gimnasios y piscinas	300	22	80	Para instalaciones de acceso público, consultar CIE58-1983 y CIE62-1984

Fuente: International Comission on Illumination (2002) *(Traducción propia)*

2.2.2 UNE-EN 12464-1

La norma EN 12464-1, norma europea elaborada por el comité técnico CEN/TC 169 Luz e iluminación, tiene la finalidad de que la población realice tareas visuales con la iluminación adecuada para que de este modo sea eficiente y preciso. En esta norma se da una especificación para sistemas de iluminación de los lugares de trabajo en interiores y sus áreas asociadas en

términos de cantidad y calidad de la iluminación. Se encuentran recomendaciones de niveles mínimos de iluminancia dependiente de la actividad o trabajo a realizar, la uniformidad, deslumbramiento, distribución de la luz y propiedades de las fuentes de luz. Debido a que esta tiene muchas fuentes de la norma mencionada anteriormente la mayoría de los tópicos se sobreponen.

A continuación, se presenta los niveles de iluminación según la actividad de trabajo a realizar; específicamente la parte de edificios educacionales:

Tabla 3 Tabla de valores de iluminación, límites de deslumbramiento y calidad de color según la UNE EN 12464-1 para edificios educativos.

6.2 Edificios educativos

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\overline{E}_m$ lux	UGR_L –	R_a –	Observaciones
6.2.1	Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
6.2.2	Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
6.2.3	Sala de lectura	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
6.2.4	Pizarra	500	19	80	Evitar reflexiones especulares
6.2.5	Mesa de demostraciones	500	19	80	En salas de lectura 750 lux
6.2.6	Aulas de arte	500	19	80	
6.2.7	Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	90	$T_{CP} \geq 5\,000$ K
6.2.8	Aulas de dibujo técnico	750	16	80	
6.2.9	Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	80	
6.2.10	Aulas de manualidades	500	19	80	
6.2.11	Talleres de enseñanza	500	19	80	
6.2.12	Aulas de prácticas de música	300	19	80	
6.2.13	Aulas de prácticas de informática	300	19	80	Trabajo con EPV: véase el apartado 4.11
6.2.14	Laboratorio de lenguas	300	19	80	
6.2.15	Aulas de preparación y talleres	500	22	80	
6.2.16	Halls de entrada	200	22	80	
6.2.17	Áreas de circulación, pasillos	100	25	80	
6.2.18	Escaleras	150	25	80	
6.2.19	Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	80	
6.2.20	Salas de profesores	300	19	80	
6.2.21	Biblioteca: estanterías	200	19	80	
6.2.22	Biblioteca: salas de lectura	500	19	80	
6.2.23	Almacenes de material de profesores	100	25	80	
6.2.24	Salas de deportes, gimnasios, piscinas (uso general)	300	22	80	Para actividades más específicas, se deben usar los requisitos de la Norma EN 12193
6.2.25	Cantinas escolares	200	22	80	
6.2.26	Cocina	500	22	80	

Fuente: Comité Europeo de Normalización (2002)

2.2.3 Decreto 89 "Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo"

En el Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo, se presenta un apartado en la sección 2 de agentes físicos los valores esperados de la iluminación, su deslumbramiento máximo e índice de reproducción cromática, también presenta ciertas recomendaciones en la iluminancia dependiendo de la dificultad de la asignación y de la relación entre iluminación general y localizada. Podemos observar que a diferencia de las normativas regionales e internacionales en esta no se presentan formas claras de poder verificar los valores de estos o las tolerancias establecidas. En este reglamento se establecen recomendaciones de como poder evitar deslumbramiento, en que ocasiones utilizar iluminación artificial, que es preferente el uso de luz natural, entre otras. En síntesis, su enfoque prioritario es evitar que ocurran accidentes en el ambiente laboral.

Tabla 4. Tabla de valores de iluminación, límites de deslumbramiento y calidad de color en Zonas de circulación y áreas generales de interiores.

LUGAR O ACTIVIDAD	Em[1]	UGR[2]	Ra[3]	Observaciones[4]
Zonas de circulación				
Pasillos y vías de circulación	100	28	40	A nivel del suelo. Si hay circulación de vehículos, aumentar a 150 lux
Escaleras normales y escaleras mecánicas	150	25	40	
Muelles de carga/descarga	150	25	40	
Salas de descanso, primeros auxilios y sanitarios				
Comedores	200	22	80	
Salas de descanso	100	22	80	
Salas de ejercicios físicos	300	22	80	
Vestuarios, servicios y aseos	100	25	80	
Enfermería	500	19	80	
Sala de atención médica	500	19	90	Temperatura de color Tc[3] 4000° K
Salas de Control				
Salas de calderas, interruptores, etc.	200	25	60	
Centralistas, salas de fax	500	19	80	
Salas de almacén y cámaras refrigeradas				
Almacenes	100	25	60	200 lux si están ocupados continuamente
Áreas de embalado	300	25	60	
Áreas de almacenamiento en estanterías				
Pasillos sin trabajadores	20	-	40	
Pasillos con trabajadores	200	22	60	
Puestos de control	200	22	60	

Fuente: Decreto 89 del Ministerio de Trabajo y Previsión Social

Tabla 5. Tabla de valores de iluminación, límites de deslumbramiento y calidad de color en Actividades industriales y artesanales.

B: ACTIVIDADES INDUSTRIALES Y ARTESANALES				
LUGAR O ACTIVIDAD	Em[1]	UGR[2]	Ra[3]	Observaciones[4]
Actividades agrícolas				
Carga de productos, manipulación de equipos y maquinaria	200	25	80	
Establos y cuadras	50	-	40	
Paritorios y establos para animales enfermos	200	25	60	
Preparación del pienso, ordeño y lavado de utensilios	200	25	60	
Panaderías				
Preparación de la masa y elaborado del pan	300	22	80	
Acabado y decorado	500	22	80	
Industria del cemento y hormigón				
Secado	50	28	20	
Preparación de materiales, hornos y mezcladoras	200	28	20	
Trabajo con maquinaria en general	300	25	80	
Moldeado de briquetas	300	25	80	
Industria cerámica y del vidrio				
Secado	50	28	20	
Reparación y trabajo con maquinaria en general	300	25	80	
Esmaltado, grabado, pulido, operaciones de precisión fabricación de instrumentos de vidrio	750	19	80	
Pulimento de vidrio óptico, pulimento manual, grabado trabajos en productos con precisión media	750	16	80	
Dibujos a mano y trabajos de precisión: grabado decorativo, etc.	1000	16	90	Temperatura de color Tc[3] 4000° K
Fabricación de piedras preciosas artificiales	1500	16	90	Temperatura de color Tc[3] 4000° K
Industrias químicas, plásticas y del caucho				
Instalaciones de procesos por control remoto	50	-	40	
Instalaciones de procesos con intervención manual limitada	100	28	40	
Lugares de trabajo con intervención manual continua	300	25	80	
Laboratorios y salas de medidas de precisión	500	19	80	
Fabricación de productos farmacéuticos	500	22	80	
Fabricación de neumáticos	500	22	80	
Inspección de color	1000	16	90	Temperatura de color Tc[3] 4000° K
Corte, acabado e inspección	750	19	80	

Fuente: Decreto 89 del Ministerio de Trabajo y Previsión

Tabla 6. Tabla de valores de iluminación, límites de deslumbramiento y calidad de color en Oficinas.

C: OFICINAS				
LUGAR O ACTIVIDAD	Em[1]	UGR[2]	Ra[3]	Observaciones[4]
Archivos, copiadoras, áreas de circulación	300	19	80	
Lectura, escritura, mecanografía, proceso de datos	500	19	80	Acondicionar las pantallas de visualización
Dibujo técnico	750	16	80	
Diseño asistido (CAD)	500	19	80	Acondicionar las pantallas de visualización
Salas de reunión	500	19	80	
Puestos de recepción	300	22	80	
Almacenes	200	25	80	

Fuente: Decreto 89 del Ministerio de Trabajo y Previsión Social

2.2.4 UNE- EN 15193

En esta norma titulada "Eficiencia energética de los edificios. Requisitos energéticos para la iluminación. Se presenta una serie de métodos para el cálculo de la energía utilizada para la iluminación interior en los edificios y establece un indicador numérico para los requisitos de energía que la iluminación y sus sistemas de control deberían cumplir, con este valor numérico se puede obtener certificaciones de eficiencia energética. La norma se aplica tanto para edificios que ya existen como para renovaciones o nuevos edificios y ofrece objetivos energéticos para la iluminación. En esta norma los edificios se dividen en distintas categorías como lo son oficinas, edificios educativos, hospitales, hoteles, restaurantes, instalaciones deportivas, servicios de venta al por menos o fabrica.

Indicador Numérico de Energía para Iluminación (LENI)

Este valor se establece usando la siguiente ecuación:

$$LENI: \frac{W}{A}\ [kWh(m^2 * año)]$$

Donde

W es la energía total anual usada para la iluminación [kWh/año]

A es el área total útil del edificio [m^2]

El LENI es importante debido a que se puede utilizar para hacer comparaciones directas de la energía para la iluminación en edificios que tienen funciones similares, pero son de diferente tamaño y configuración.

2.3.Base teórica

2.3.1. Confort visual

Según Robles Machuca (2014), la comodidad o confort visual es un estado subjetivo que se experimenta como bienestar al observar objetos o realizar tareas visuales sin molestias ni fatiga. Esto se logra gracias a la adecuada combinación de calidad y cantidad de iluminación, lo cual influye en la facilidad con la que nuestra visión percibe lo que nos interesa. La función visual depende inicialmente del nivel de iluminación, es decir, de la cantidad de luz presente en el ambiente. A través de este proceso, nuestro sistema visual capta los objetos que nos rodean. Aunque la luz es inmaterial, se puede decir que se materializa al reflejarse en los objetos, permitiendo que el ojo humano los perciba. Por tanto, el confort visual se basa principalmente en cómo percibimos la información visual de nuestro entorno, específicamente en la calidad de la iluminación.

También Pattini y Yamin (2011) describen el confort visual como: "una condición que expresa satisfacción con el ambiente visual. Sus aspectos básicos son: 1- Cantidad necesaria de luz: luz suficiente y necesaria para ver, el aspecto cuantitativo. La cantidad de luz puede proveer la visibilidad requerida (estamos satisfechos con el ambiente visual si podemos verlo correctamente). 2- Calidad de luz: otro aspecto es la eliminación de efectos molestos o perturbadores conectados a la iluminación, es decir, su aspecto cualitativo". Por lo cual se puede decir que los parámetros más importantes que se deben tener en cuenta sobre el confort visual en ciertas áreas dependen mayormente de la cantidad de luz y la calidad de esta, por lo que en ausencia de estos dos puntos se tendría la inexistencia de un confort visual.

2.3.1.1. Problemas visuales

Para entender mejor los factores que afectan el confort visual debemos hablar sobre uno en particular, el cual es el deslumbramiento, del cual se desarrollará a profundidad más adelante.

La IESNA (Iluminating Engineering Society) define al deslumbramiento como la sensación producida por luminancias dentro del campo visual suficientemente mayores a la luminancia a la

que el sistema visual está adaptado como para causar molestia, incomodidad o pérdida en el funcionamiento visual y la visibilidad (IESNA, 2000). Claramente el no poseer un confort visual en general puede ocasionar problemas visuales a corto o largo plazo. Uno de los problemas más comunes debido a la falta de confort visual es la fatiga visual (Cornejo Salvador, Escobar Romero, & Ramírez Mendoza, 2015).

La fatiga visual es un problema que va ligado con los niveles de iluminación en los entornos, esto provoca diferentes problemas a la visión. Por lo que presentar deficiencias en la iluminación, en especial, en lugares de trabajo obliga a que las personas deban hacer un mayor esfuerzo para ver, lo que desencadena en algunos trastornos visuales como miopía, lagrimeo, disminución de la agudeza visual, sequedad, picor o escozor; dolor de cabeza, cansancio, irritabilidad, mal humor, entre otros (Beltrán Molina & Merchán Arévalo, 2013).

2.3.1.2. Generalidades de la Luz

Concepto de Luz

La luz puede describir como la radiación electromagnética que viaja a través del vacío y es perceptible por la vista. En otras palabras, es la energía luminosa que podemos ver y que se propaga en forma de ondas electromagnéticas (Alfaro Cristales & Devani Hernandez, 2020).

Los colores visibles por el ojo humano se le conoce como “Espectro visible” (Ver Ilustración 2. Espectro electromagnético) la cual es la región donde la luz se define según sus diversas longitudes de onda con lo cual se consiguen los diferentes colores que conocemos, el color rojo es el espectro con mayor longitud de onda (700-780 nm) y el de menor longitud de onda es el morado o violeta (380-400 nm). Algunos estudios han demostrado que el color más perceptible para el ser humano es el verde-amarillo que se encuentra en 550 nm (López Vergara & Vergara Alonso, 2017).

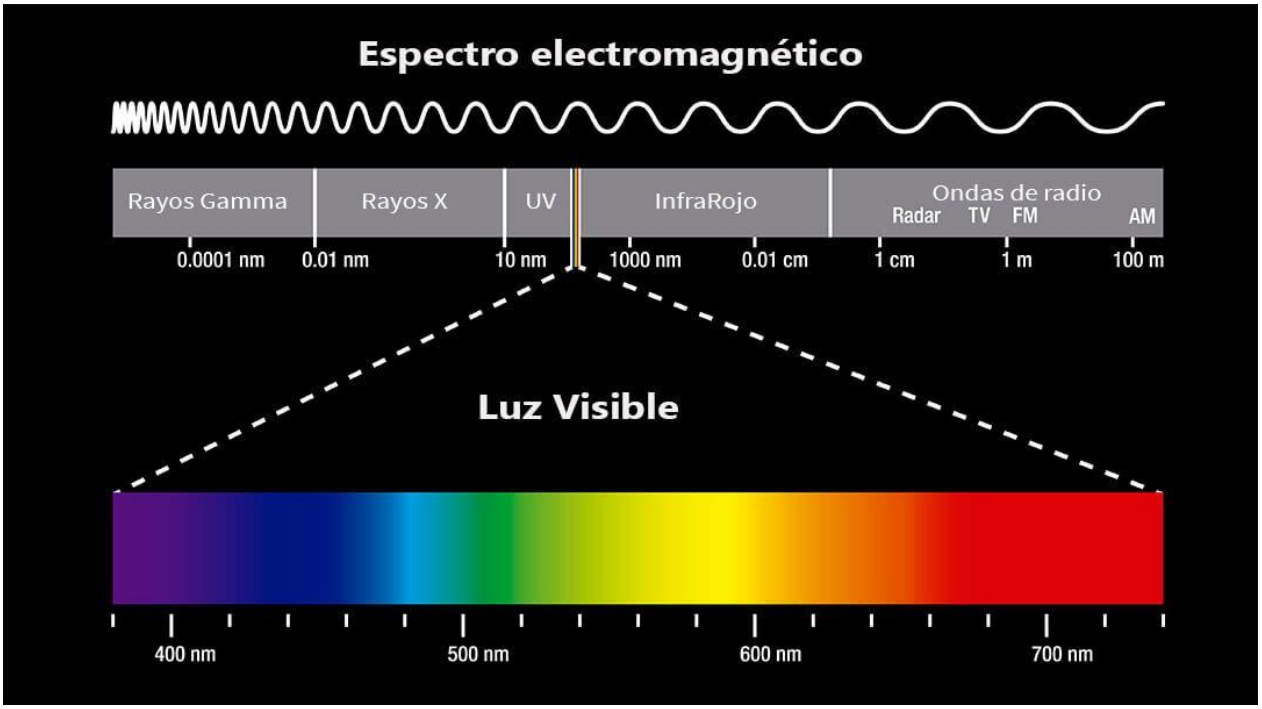


Ilustración 2. Espectro electromagnético

Durante toda la historia de la humanidad como se describió anteriormente (sección 2.1. Historia), el ser humano ha desarrollado diversas técnicas para generar ondas electromagnéticas visibles. Un claro ejemplo de esto son las lámparas, las cuales transforman la energía eléctrica en radiación electromagnética visible, siendo esta la forma más común en la actualidad. Sin embargo, si retrocedemos aún más en el tiempo nos damos cuenta que esta técnica fue utilizada desde que se descubrió la propiedad de incandescencia de algunos objetos al ser calentados, los cuales liberan energía electromagnética en el espectro visible por la vista, lo que posibilitó utilizar esta forma de iluminación en la antigüedad.

2.3.1.3. La luz y la superficie de los objetos

Para poder entender mejor el fenómeno de la luz es necesario conocer las propiedades ópticas que esta puede tener sobre los objetos, para así saber cómo puede esto perjudicar a la hora de realizar cualquier actividad o a la hora de planear la iluminación de ciertas zonas, en especial aquellas que son diseñadas para realizar actividades.

Cuando un rayo de luz se propaga por un medio y alcanza el límite que lo separa de un segundo medio, pueden suceder diferentes escenarios:

Que retorne al primero (Reflexión), que lo atraviese e ingrese al segundo medio donde parte se convertirá en otra forma de energía (absorción) y que parte pase de un medio a otro sin cambiar o se modifique por las características del segundo medio (Transmisión-refracción) (Castro Guaman & Posligua Murillo, 2015).

Claramente se puede observar que las propiedades de la luz al entrar en contacto con diferentes objetos pueden variar mucho la forma en la que vemos la luz, por lo cual, a continuación, se entrará más a fondo en cada una de estas propiedades.

Reflexión

Se conoce como reflexión al fenómeno en el cual una o más ondas inciden sobre una barrera plana y se generan nuevas ondas que se mueven alejándose de esta barrera (Castro Guaman & Posligua Murillo, 2015). Un ejemplo muy claro de este fenómeno es cuando apuntamos un láser a un espejo, vemos como este laser que llega al espejo sale del mismo con un mismo ángulo de incidencia (ver Ilustración 3. Reflexión).

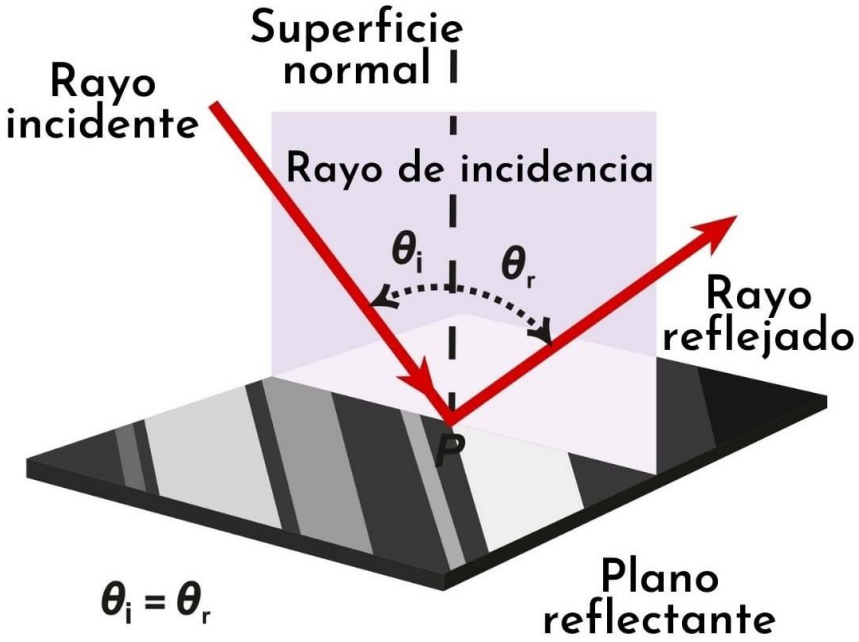


Ilustración 3. Reflexión

Claramente esta propiedad depende mucho del material al que se está incidiendo. En otras palabras, la cantidad de luz reflejada y la forma en que se refleja dependen de las propiedades de la superficie. Para describir esto, utilizamos el concepto de reflectancia, que es la relación entre la cantidad de luz reflejada y la cantidad de luz incidente. Es decir, la reflectancia nos dice cuánta luz rebota de

una superficie en comparación con la cantidad de luz que llega a ella. Los tipos de reflexión de pueden ser:

- Especular: Esta es producida por superficies extremadamente lisas y brillantes, como los espejos y los metales pulidos. Estas superficies tienen la capacidad de reflejar la luz de manera intensa y uniforme (ver Ilustración 4).
- Difusa: Esta es producida por superficies rugosas y mates, en estas el flujo que incide sobre ellas se refleja en todas las direcciones, siendo el rayo normal el de mayor intensidad. Ejemplo de este tipo son: el papel blanco mate, la tela blanca, entre otros (ver Ilustración 4).
- Mixta: En este tipo el flujo es disperso, parte del flujo incidente se refleja y parte se difunde, se podría decir que es una combinación de los casos anteriores (ver Ilustración 4).

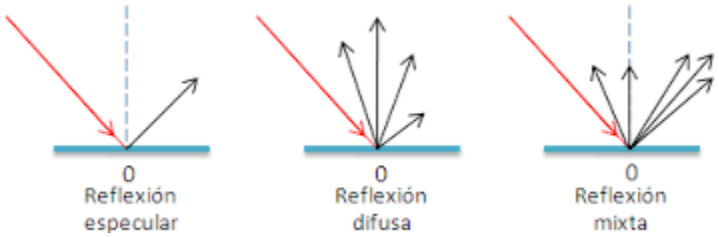


Ilustración 4. Tipos de reflexión

Transmisión-refracción

La transmisión ocurre cuando las ondas electromagnéticas (como la luz visible) atraviesan un material sin ser completamente absorbidas. Esto significa que la luz puede pasar parcial o totalmente a través de la superficie y continuar su trayectoria hacia el otro lado del material (Robles Machuca, 2014). Al igual que en la reflexión hay distintos casos que se pueden presentar:

- Especular o directa: Cuando el material es transparente, lo que significa que este material tiene la capacidad de transmitir un haz de luz directa que cae sobre ella sin dispersarla o difuminarla.

- Difusa: Este ocurre cuando la luz pasa a través de un objeto transparente o semitransparente con textura, lo que ocasiona que el haz de luz que atraviesa el material sufra un desvío con respecto a su trayectoria original, a lo que se le conoce como refracción. Este tipo de transmisión está contemplado en la ley de Snell (ver Ilustración 5. Representación de Ley de Snell, donde n1 y n2 son índices de refracción de los medios 1 y 2): "Cuando una onda incide sobre la superficie de separación entre dos medios, parte de la energía se refleja y parte entra en el segundo medio. El rayo transmitido está contenido en el plano de incidencia, pero cambio de dirección (rayo refractado) formando un ángulo con la normal a la superficie" (Cornejo Salvador, Escobar Romero, & Ramírez Mendoza, 2015)

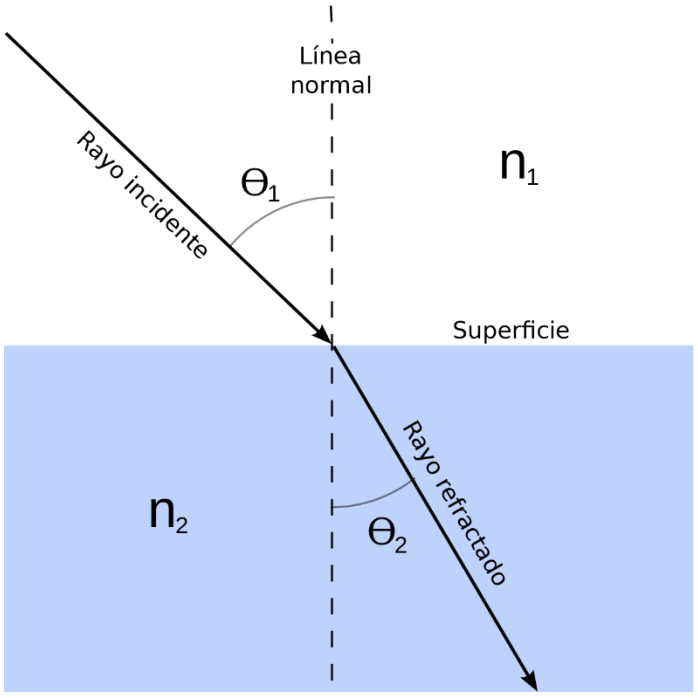


Ilustración 5. Representación de Ley de Snell, donde n1 y n2 son índices de refracción de los medios 1 y 2

Absorción

La absorción en los objetos ocurre cuando la radiación, o en un caso más específico, el haz de luz no se refleja ni se transmite, sino que es capturado o absorbido por el material. En otras palabras, cuando la luz incide sobre un objeto y no se refleja ni atraviesa, sino que queda dentro del material, estamos hablando de absorción (Robles Machuca, 2014). Al igual que en las propiedades anteriores, la absorción puede presentarse de muchas maneras, si el haz de luz es totalmente absorbido por el material se tiene una absorción completa, si parte de la luz es reflejada o transmitida se tiene una absorción parcial. Cabe destacar que esta energía que entra como luz al objeto se transforma en calor. Además, la absorción es una propiedad muy ligada al color que nosotros percibimos de los objetos. Por ejemplo, cuando la luz blanca incide sobre un objeto, parte de los colores que la componen son absorbidos por la superficie, mientras que el resto son reflejados (ver Ilustración 6). Estas componentes reflejadas son las que determinan el color que percibimos. Si el objeto refleja todos los colores, lo vemos como blanco; si absorbe todos los colores, lo percibimos como negro (Alfaro Cristales & Devani Hernandez, 2020).

2.3.1.4. Magnitudes fotométricas

Para poder continuar con el desarrollo del presente proyecto es necesario definir algunos conceptos de luminotecnia que nos darán una base teórica y la posibilidad de medir algunas magnitudes cuantitativas con respecto a la iluminación. Los valores referencia de estas magnitudes se pueden encontrar en la sección 2.2. Normativa legal.

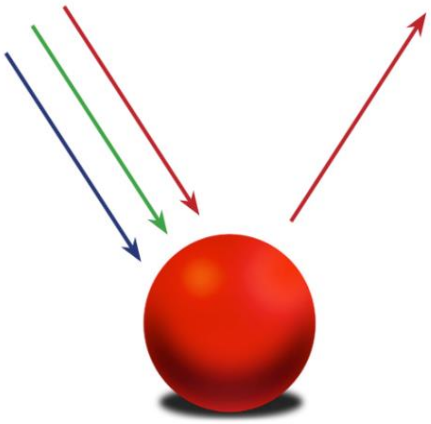


Ilustración 6. Ejemplo de absorción de los colores.

Flujo luminoso (Φ):

El flujo luminoso “es la cantidad de luz emitida por una fuente en todas las direcciones, o también podemos decir que es la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa” (Calvillo Cortés, 2010). Su unidad de medida es el Lumen (Lm) y está representado por la letra griega Φ.

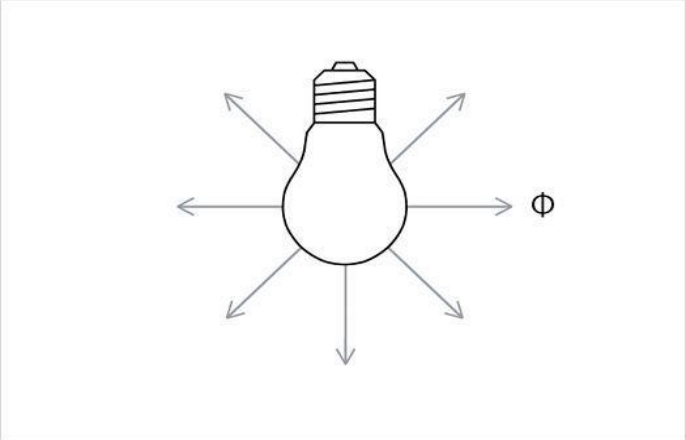


Ilustración 7. Representación de flujo luminoso

Intensidad luminosa (I):

La intensidad luminosa (I) puede ser descrita como la cantidad de flujo luminoso que se emite en una dirección específica, y está contenida dentro de un ángulo sólido de 1 estereorradián (ω). La unidad de medida de la intensidad luminosa es la candela (cd) (Calvillo Cortés, 2010).

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

Donde:

I = Intensidad luminosa (cd)

Φ = Flujo luminoso (lm)

ω = ángulo sólido en estereorradián (sr)

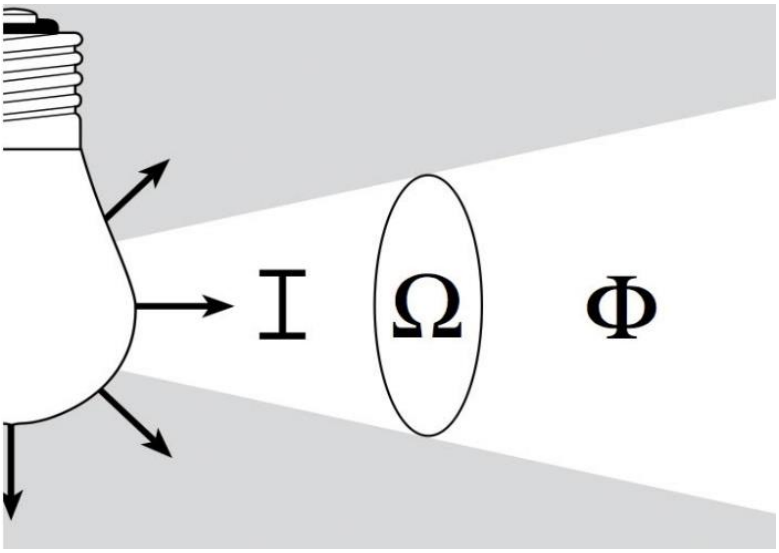


Ilustración 8. Representación Intensidad luminosa, donde I es intensidad luminosa, Ω ángulo sólido y Φ flujo luminoso.

La intensidad luminosa se toma solamente en una dirección dentro de un ángulo sólido, a diferencia del flujo luminoso el cual toma en cuenta la iluminación en todas direcciones (ver Ilustración 9).

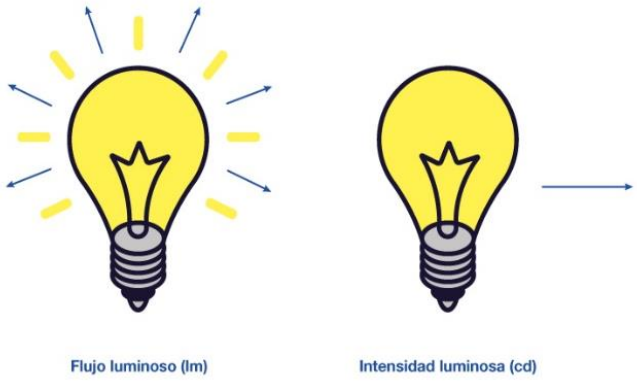


Ilustración 9. Representación flujo e intensidad luminosos

Iluminancia (E):

La iluminancia "es el índice representativo de la densidad de flujo luminoso sobre una superficie. Se definen como la relación entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y el tamaño de la misma" (Castro Guaman & Posligua Murillo, 2015). La unidad de medida de la iluminancia es el Lux [lm/m^2] y se representa con la letra E.

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Donde:

E = Iluminancia (lx)

Φ = Flujo luminoso (lm)

S = Superficie (m^2)

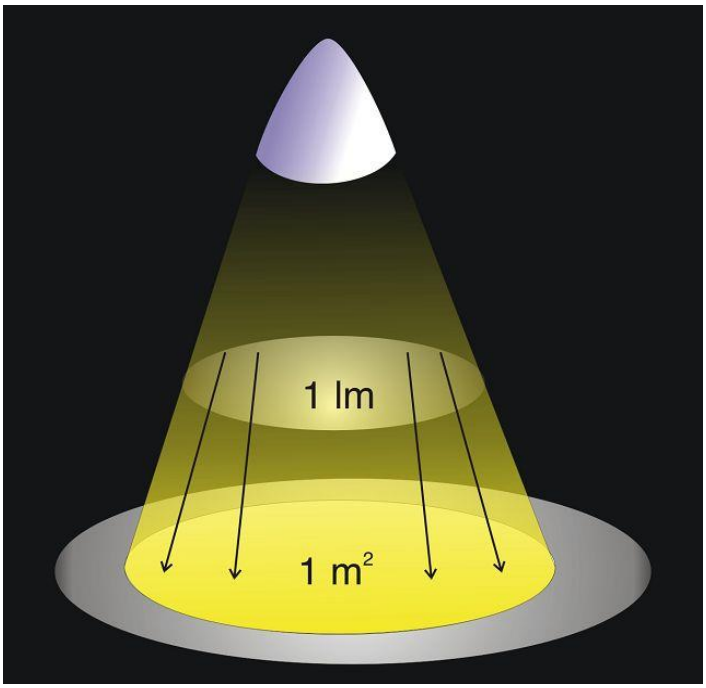


Ilustración 10. Representación de 1 lx de iluminancia.

Para tomar medición de la iluminancia existe un equipo específico, el cual se conoce con el nombre de luxómetro, de esta herramienta se hablará más a detalle en secciones posteriores.

Luminancia (L):

La luminancia se refiere a la cantidad de luz emitida o reflejada en una dirección específica por una superficie, ya sea que esté iluminada directa o indirectamente. Este concepto está vinculado con la percepción de brillo que una superficie genera en nuestros ojos. Su unidad de medida es cd/m^2 (Calvillo Cortés, 2010).

$$L = \frac{I}{Acos(\alpha)}$$

Donde:

I = Intensidad luminosa (cd)

A = Superficie (m^2)

α = Ángulo de incidencia

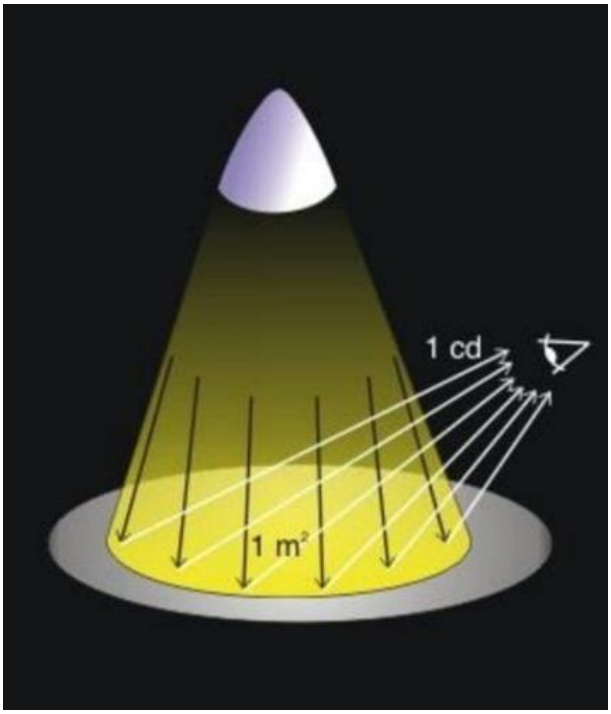


Ilustración 11. Representación de Luminancia.

2.3.1.5. Leyes fundamentales

Ley inversa del cuadrado de la materia

Establece que la iluminancia de la luz emitida por una fuente puntual se reduce proporcionalmente al cuadrado de la distancia desde la fuente. (Calvillo Cortés, 2010). Es decir, a medida que la distancia desde la fuente de luz aumenta, la iluminancia de la luz disminuye de manera cuadrática.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

Donde:

E = Iluminancia (lx)

I = Intensidad luminosa (cd)

d = Distancia desde la fuente hasta el objeto (m)

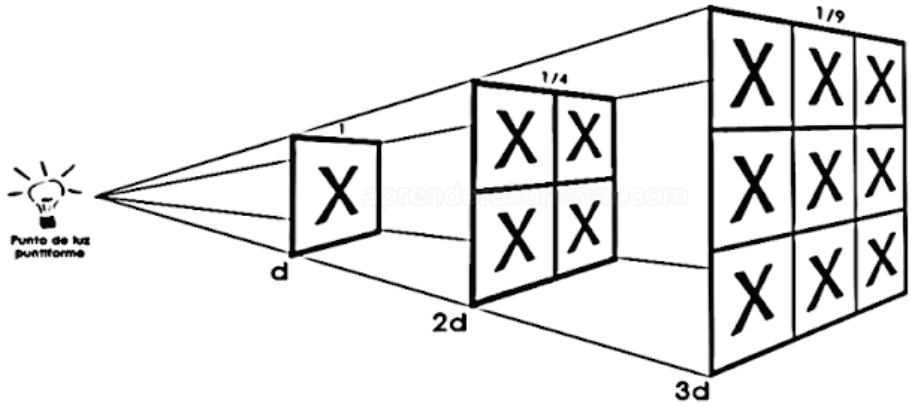


Ilustración 12. Representación de la Ley inversa al cuadrado.

En la Ilustración 12 se puede observar cómo es el comportamiento de la iluminación con respecto a las distancias. Por ejemplo, imaginemos que tenemos una fuente de luz uniforme con una intensidad luminosa de 36 cd, inicialmente esta fuente se encuentra a un metro de distancia de la superficie con lo que se tienen 36 lx de iluminancia, si esta misma fuente ahora se coloca a 2 m de la superficie, la iluminancia cambia y ahora pasar a tener 9 lx, como se puede observar la cantidad de iluminancia disminuye con respecto a la cantidad inicial, esto ocurre porque la cantidad de candelas de la fuente sigue siendo la misma pero ahora el área que debe abarcar es mucho mayor por lo que la intensidad luminosa debe repartirse en toda la nueva área.

Ley del coseno

Esta ocurre cuando la superficie iluminada y la fuente de radiación no se encuentran perpendicular, sino que en un ángulo en específico. En estos casos se toma como referencia la ley inversa del cuadrado y se debe multiplicar por el cose del ángulo correspondiente (Castro Guaman & Posligua Murillo, 2015).

$$E = \frac{I}{d^2}\cos(\alpha)$$

Donde:

E = Iluminancia (lx)

I = Intensidad luminosa (cd)

d = Distancia (m)

α = Ángulo

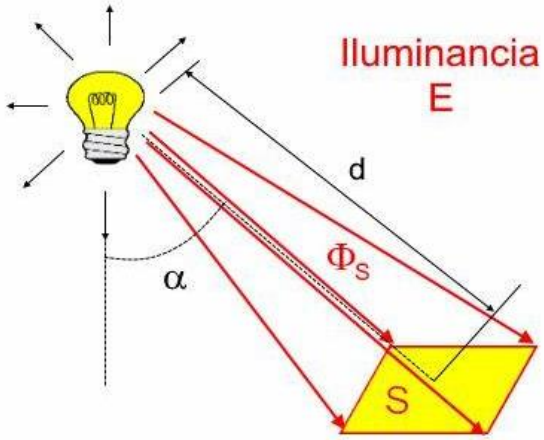


Ilustración 13. Representación Ley de coseno

2.3.1.6. Conceptos de iluminación

Color

El color es una percepción subjetiva que resulta de la interacción psicofisiológicos con el espectro electromagnético visible. Las impresiones de luz o imágenes que se forman en nuestra retina son transmitidas al cerebro, el cual se encarga de interpretarlas como un conjunto de sensaciones monocromáticas que definen el color de la luz (Castro Guaman & Posligua Murillo, 2015). Como se mencionó anteriormente en la sección de "La luz y la superficie de los objetos" el color de cada objeto está definido por las propiedades ópticas de reflejar, transmitir y absorber; como recordatorio si nosotros vemos un objeto color azul quiere decir que ese objeto refleja las ondas cuya frecuencia se encuentra en el espectro visible que conocemos como azul y absorbe todas las demás ondas electromagnéticas que son de diferente frecuencia al azul.

El color es un aspecto muy importante dentro de la iluminación ya que este puede afectar de gran manera la sensación de confort y hasta el estado de ánimo de las personas. El color posee dos factores muy relevantes que se deben tener en cuenta en todo momento y son: la temperatura del color (tc) y el índice de reproducción cromática (IRC).

Temperatura del color

La temperatura del color mide el grado de calidez o frialdad que emana una fuente de luz. Sus unidades son lo grados Kelvin (Castro Guaman & Posligua Murillo, 2015). Cabe destacar que las unidades son Kelvin, pero no está relacionado con la temperatura de la fuente luminosa, los grados Kelvin de la temperatura del color vienen de un cuerpo referencia color negro, el cual se calienta a

diferentes temperaturas y dependiendo de la temperatura a la que arda este objeto así es el color de este. Por ejemplo, se conoce que una luz cálida puede tener una temperatura de 3000 K, eso quiere decir que el objeto calentado a una temperatura de 3000 K emana una luz cálida como las que conocemos y es así como se tiene la referencia de la temperatura del color. Para mayor referencia sobre la temperatura de los colores ver Ilustración 14.

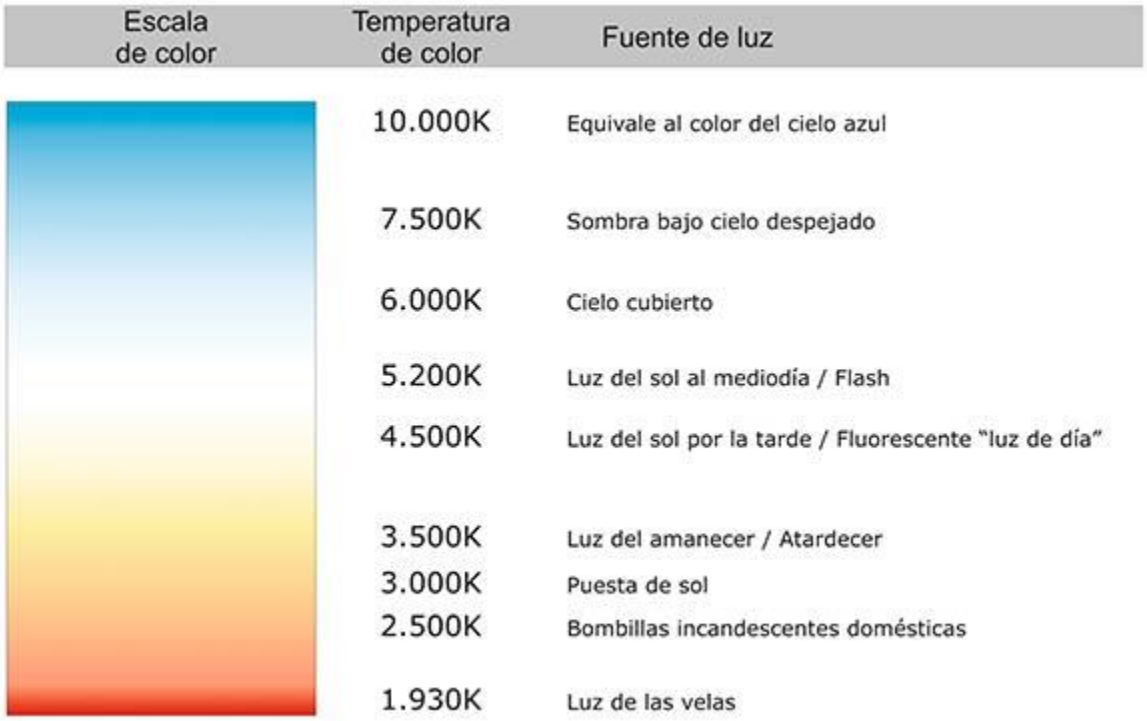


Ilustración 14. Escala de temperatura de color.

Se tiene conocimiento que la temperatura del color afecta mucho en las diferentes actividades que realiza el ser humano, entre estas actividades se encuentran las actividades académicas. Vera Mazuelos y Muros Alcojor (2021) realizaron una investigación en la cual se analizó la relación entre la temperatura de color presente en los sistemas de iluminación artificial en espacios de educación inicial y los distintos ámbitos del desayollo infantil en niños de 0 a 5 años. En esta investigación se llegó a la conclusión que la tempertatura afecta en gran medida el rendimiento y las actividades que los niños realizan en sus instituciones educativas por lo que es algo en tener en cuenta a la hora de planificar centros educativos y, aunque, esta investigación habla sobre eduación inicial, esta información puede extraporlarse a eduación media y superior. A continuación, se

muestra una tabla con diferentes temperaturas de color y su efecto, en el rendimiento académico de educación inicial.

Temperatura de Color	Efecto
2900K	Induce a la calma. Utilizado para la transición del recreo a las aulas de clase. (Cachán et al.,2012)
3000K	Peor rendimiento de concentración. Mayor % de errores. (Keis et al.,2014)
3500K	Es relajante. Mejora las actividades lúdicas en el recreo. (Choi y Suk,2016)
4000K	Ideal para actividades que no requieren esfuerzo visual. (Cachán et al., 2012)
4100K	Mejora el compromiso y la participación. (Pulay y Williamson, 2019) Adecuado para leer, escuchar, concentrarse para las matemáticas y trabajo en silencio. Apropiado para juegos grupales, manualidades y la alimentación. (Rijswijk, 2013)
5100K	Mejora el rendimiento en el cambio de las tareas de los niños en edad pre escolar. (Hartstein, LeBourgeois y Berthier, 2018) Peor rendimiento académico, más lento. '—'(Choi y Suk, 2016)
5500K	Mejor rendimiento académico. Aumento de la grasa corporal. (Hathaway, 1995)
6500K	Es más excitante y menos relajante. Mejor rendimiento académico. '—'(Choi y Suk, 2016)
8000K	Incita la concentración. Mejora la participación y atención en clase. (Cachán et al., 2012)
12000K	Luz energética. Puede ayudar a la activación en las primeras horas de la mañana. Mejora la participación y atención en clase. (Cachán et al., 2012)
4000K + 14000K luz indirecta	Mejora la velocidad en el proceso cognitivo. (Keis et al., 2014)

Ilustración 15. La temperatura de color y su influencia en actividades propias de la educación infantil. Fuente: (Vera Mazuelos & Muros Alcojor, 2021)

La temperatura del color tiene un impacto en dos aspectos fundamentales: la atmósfera generada, que puede ser de comodidad o malestar, y la alteración del color. Se ha demostrado que el color del entorno provoca respuestas emocionales o psicológicas en el observador. Por lo tanto, es importante tomar en cuenta la temperatura del color a la hora de crear espacios específicos para ciertas actvidades como recibir clase, dormir, leer, entre otros. Entre las temperaturas de color más usuales se encuentra la cálida, neutra y fría. Estas son las más usuales que se pueden observar en distintos lugares como centros comerciales, instituciones educativas, hogares, entre otros (Para mayor referencia ver Ilustración 16).

Ilustración 16. Temperaturas de color más comunes.

Índice de reproducción cromática (IRC)

Este índice se utiliza para medir objetivamente la capacidad que tienen las fuentes de luz para reproducir fielmente el color de los objetos. Este se expresa en porcentajes, cuyo valor de referencia es la luz natural, la cual representa el 100%. Este valor disminuye cuando la calidad de la iluminación baja. Se consideran muy buen IRC de 90% en adelante, bueno de 80% a 90% y regulares de 50% a 80% (Robles Machuca, 2014). En otras palabras, este sirve para conocer la calidad de la iluminación con respecto a los colores que puede conseguir, tomando como referencia la luz natural.

Deslumbramiento

Según la UNE-EN 12464-1 (2012) deslumbramiento se define como: "la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión, tales como superficies iluminadas, partes de las luminarias, ventanas y/o claraboyas". Este es un problema que puede ocasionar fatiga y accidentes por lo que se debe limitar en la medida de lo posible. El deslumbramiento puede experimentarse como deslumbramiento molesto o perturbador. El deslumbramiento causado por las reflexiones en superficies especulares se conoce como reflexiones de velo o deslumbramiento reflejado.

Para calcular el deslumbramiento se utiliza la fórmula del Índice de Deslumbramiento Unificado de la CIE (UGR, por sus siglas en inglés).

$$UGR = 8log_{10}(\frac{0.25}{L_B}\sum\frac{L^2\omega}{p^2})$$

Donde:

L_B = Iluminancia de fondo, calculada como $E_{ind} * \pi^{-1}$, en la que E_{ind} es la iluminancia indirecta vertical en el ojo del observador, en $cd*m^{-2}$.

L = Luminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador, en $cd*m^{-2}$.

ω = El ángulo sólido en estereorradianes de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador.

p = Índice de posición de Guth para cada luminaria individual que se refiere a su desplazamiento desde la línea de visión.

Nota: Los valores de UGR máximos se muestran en la sección 2.2. Normativa legal, de este documento.

Para evitar el deslumbramiento debido a fuentes luminosas brillantes se suele utilizar apantallamientos adecuados para la fuente de luz.

Posición

La posición de la fuente de luz es un elemento de suma importancia ya que este puede modificar por completo la apariencia de los lugares, para ubicar las luminarias se debe tener especial cuidado tomando en cuenta el confort visual que estas deben producir y que sea lo más eficiente posible.

2.3.1.7. Instrumentos de medición

El instrumento por excelencia para medir la iluminación se le conoce como luxómetro. Este se utiliza para medir la iluminación en una determinada área o superficie. Sus unidades de medida son los Luxes (lx) o Pie candela (FC, por sus siglas en inglés “Foot Candel”).

Los luxómetros tienen múltiples usos, que incluyen la valoración de la iluminación tanto en espacios interiores como exteriores, la medición de la luz en la fotografía y su aplicación en la industria de la seguridad en el trabajo. Algunas de las importancias del uso de luxómetros son: verificar el cumplimiento de estándares o normativas de iluminación, promover la seguridad y la salud, el ahorro energético y la mejora del ambiente y estética de los espacios iluminados.

En el presente proyecto utilizaremos el luxómetro Ingco ING_HETLU01 para la toma de iluminación en diferentes espacios de interés dentro de la universidad.

Especificaciones del luxómetro a utilizar:

Marca: Ingco

Modelo: ING_HETLU01

- Rango 0 ~ 200,000 lux (0 ~ 20,000 FC)
- Resolución 1 LUX/1 FC
- Precisión ± (3% + 5 LUX) (A 2,854° K lámparas incandescentes) ± (6% + LUX) otros
- Características de desviación del ángulo cosenoidal 30° (± 2%); 60° (± 6%); 80° (± 25)
- Rango espectral 320 – 730 nm

Ilustración 17. Luxómetro Ingco ING_HETLU01

2.3.2 Eficiencia energética

La eficiencia energética "EE" puede ser definida en palabras simples como la reducción del consumo energético de sistemas, maquinarias o edificios, manteniendo la funcionalidad de los servicios y sin disminución de la calidad del servicio. Algunos autores definen la eficiencia energética como el cociente entre la energía requerida para el desarrollo de una actividad especifica y la cantidad de energía primaria que es usada para el proceso, este concepto esta más relacionado con uno más amplio llamado desempeño energético. El desempeño energético también involucra el uso de la energía, el consumo que esta tiene y su intensidad. (Sánchez & Fuquen Gonzalez, 2014).

Las posibilidades de la eficiencia energética en el futuro de nuestro mundo son bastante importantes, podemos disminuir el consumo de energía eléctrica que a su vez nos permite ahorrar nuestros recursos limitados prolongando su duración, y es de las mejores formas de reducir el cambio climático causado por la emisión de dióxido de carbono a la atmosfera debido al paralelismo entre el consumo energético y las emisiones de CO_2. (Linares Llamas, 2009)

Si analizamos las dos maneras en que se expresan estos autores sobre la eficiencia energética podemos llegar notar dos puntos muy importantes sobre la aplicación de esta en nuestra vida. La primera definición, enfocada a un desempeño energético, habla de la cantidad de energía que consumimos con respecto a la necesaria para realizar una acción o proceso, esto quiere decir que

la eficiencia energética busca que la calidad de vida se mantenga estable, con las comodidades que ya poseemos. En pocas palabras es la reducción de energía "desperdiciada" debido a un mal manejo de esta. La segunda definición, enfocada a una disminución del consumo de recursos no renovables, se nos plantea que la energía proviene de diferentes fuentes, que pueden ser divididas en renovables y no renovables, la producción de energía con los recursos no renovables puede llegar a ser de las más estables y comunes en el mercado mundial, por lo que la contaminación que esta implica; es de grandes dimensiones que nos lleva al dilema de la utilización de la energía eléctrica de una manera inadecuada y teniendo desperdicios termina siendo un veneno para la vida no solo humana sino de todos los seres del planeta y el planeta mismo.

2.3.2.1 Eficiencia energética en la iluminación

La eficiencia en la iluminación es una definición difícil de realizar debido a la complejidad que esta puede abarcar, debido a la relación de costo beneficio se puede llegar a la burda conclusión de una búsqueda de realizar un ahorro energético. En realidad, es necesario tomar en cuenta la necesidad de la arquitectura ya que se necesita una buena visibilidad del área en que nos encontramos, pero dependiendo del lugar se necesita una ambientación o atmosfera distinta y el otro enfoque importante es los efectos de la luz que inciden en el ánimo, salud y comportamiento de las personas (Assaf & Pereira, 2003). La búsqueda es tener una buena iluminación para el desarrollo de actividades, el uso de las luminarias con las mejores ratios de consumo energético e iluminación que proveen, un buen mantenimiento y el uso de correcta distribución nos lleva a una iluminación eficiente. La transición a utilizar una iluminación eficiente podría llegar a reducir la demanda mundial de energía entre un 30%-40% para el 2030 que podría traducirse a una reducción de emisión es de dióxido de carbono de entre 150 y 390 megatoneladas anuales (Organizacion de Naciones Unidas, 2016).

2.3.2.2 Ahorro energético

En los sistemas de alumbrado podemos tener una variedad de maneras para poder realizar un uso eficiente de las luminarias y obtener un ahorro energético de esta manera, esto implica una inversión de parte de la institución que desee o se vea obligada a impulsar políticas de eficiencia energética y reformas a sus instalaciones. Uno de los cambios más drásticos sería el cambio total de las luminarias y su redistribución esto implicaría una reforma total de los espacios. Según Lisan Siverio Valle (2021) en un estudio experimental, si el sistema de alumbrado de las áreas está

constituido por lámparas con una eficiencia baja debido a la tecnología obsoleta pero en general el sistema tiene una buena distribución de luminarias y se cumple con las expectativas de iluminación el cambio de todo el sistema de alumbrado seria innecesariamente costoso teniendo la ventaja de poder solo hacer un cambio de los homólogos de las lámparas con una tecnología más eficiente, como lo podrías ser pasar de una lampara halógena a una fluorescente compacta o LED. Esto nos brinda un ahorro en la inversión inicial, hay una contención de los gastos debido a que se puede evitar los gastos que conlleva el montaje como puede ser un cambio de cielo falso, las remodelaciones pueden hacerse más rápido y en general realizar este tipo de cambios trae consigo beneficios energéticos, económicos, medioambientales y para la salud. Este autor también recomienda la implementación de sensores de presencia y movimiento en áreas de poco movimiento.

El usos o control eficiente de la iluminación que en este caso es artificial es muy importante, la implementación de sistemas automáticos de control de iluminación nos dan una herramienta eficiente para poder evitar el derroche de energía que puede traer el uso de un sistema manual, con la implementación de sensores de presencia y movimiento, como fue mencionado anteriormente, las áreas de bajo transito pero que tienen necesidad de ser visibles podrían ser encendidas de manera automática al estar alguien haciendo uso de este en lugar de permanecer encendidas de manera constante y el uso de sensores de lumínicos para poder aprovechar la luz natural proveniente de ventanas o traga luz (Assaf & Pereira, 2003).

2.3.2.3 Eficiencia energética de la instalación de iluminación

De acuerdo con el Documento Básico HE Ahorro de energía (Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, 2022) el valor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación es el VEEI. Este valor de eficiencia solo se usa para la iluminación de un área o local que contenga un determinado uso por lo que tendrá un estándar de parámetros lumínicos y no es útil para zonas que expongan productos al público como por ejemplo la iluminación de emergencia que señala los puntos de salidas seguras. Y a diferencia del parámetro LENI de la normativa EN 15193 se encuentra en que se mide y como se calcula. LENI es un parámetro que se centra en la energía total requerida para la iluminación mientras tanto el VEEI se centra en la eficiencia energética de una instalación con cierto grado de iluminación en una zona de actividad especifica.

El VEEI se expresa en watts por metro cuadrado por cada 100 luxes y se obtiene con la siguiente ecuación.

$$VEEI = \frac{100 * P}{S * E_m}$$

Donde:

P: Potencia de la lampara más el equipo auxiliar [W]

S: Área iluminada [m^2]

E_m: Iluminancia media sostenida [lux]

Nota: El equipo auxiliar mencionado en la potencia incluye los equipos como transformadores, cebadores, balastros y condensadores que la luminaria pueda incluir para funcionar de manera correcta.

El VEEI de la instalación de iluminación no superara el valor límite establecido en la normativa española Documento Básico HE Ahorro de energía dependiendo del uso del área interior:

Tabla 7.Valores de VEEI máximos según la normativa española DB HE Ahorro de energía.

Uso del recinto	VEEI límite
Administrativo en general	3,0
Andenes de estaciones de transporte	3,0
Pabellones de exposición o ferias	3,0
Salas de diagnóstico (1)	3,5
Aulas y laboratorios (2)	3,5
Habitaciones de hospital (3)	4,0
Recintos interiores no descritos en este listado	4,0
Zonas comunes (4)	4,0
Almacenes, archivos, *salas técnicas* y cocinas	4,0
Aparcamientos	4,0
Espacios deportivos (5)	4,0
Estaciones de transporte (6)	5,0
Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
Bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
Zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
Centros comerciales (excluidas tiendas) (7)	6,0
Hostelería y restauración (8)	8,0
Religioso en general	8,0
Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias (9)	8,0
Tiendas y pequeño comercio (10)	8,0
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
Locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

(2) Incluye la instalación de iluminación del aula y las pizarras de las aulas de enseñanza, aulas de práctica de ordenador, música, laboratorios de lenguaje, aulas de dibujo técnico, aulas de prácticas y laboratorios, manualidades, talleres de enseñanza y aulas de arte, aulas de preparación y talleres, aulas comunes de estudio y aulas de reunión, aulas clases nocturnas y educación de adultos, salas de lectura, guarderías, salas de juegos de guarderías y sala de manualidades.

2.3.2.4 Tecnologías para iluminación

Desde la invención de los dispositivos lumínicos eléctricos existen diferentes tipos que han ido surgiendo con los años. La distinción más grande entre estos tipos diferentes de lámparas es su tecnología, ocupa distintos efectos físicos para emitir su luz, y cada una de ellas tienen su temperatura de color, eficiencia luminosa, flujo luminoso y sobre todo sus consumos energéticos y vida media que poseen. Cada una de esta ofrece distintas características favorables para ciertos

rubros y cada tipo de tecnología presenta sus propias deficiencias para otras aplicaciones. Comprender bien estas tecnologías que se consideran en el ámbito de normativas de iluminación es importante para tener en cuenta a la hora de seleccionar la que se utiliza puesto que dependiendo de la acción a realizar en el área algunas podrían proporcionar ciertas ventajas que otras no poseen.

Lámparas incandescentes

En esta tecnología se ocupa la corriente eléctrica para que fluya en un filamento de wolframio también llamado tungsteno (efecto Joule), este se calienta a una temperatura bastante elevada y se produce la emisión radiante de luz. Este tipo de lámparas son consideradas muy poco eficientes, una gran cantidad de la energía que se provee a la lampara es disipada en calor, se considera que alrededor de un 85% a 90% es la cantidad de energía desprendida en calor y solo entre 10% y 15% se emite en forma de luz.

El rendimiento medio del flujo se encuentra entre los 7 y 17 [lm/W] que es un valor bajo, es necesario recalcar que en los espacios las recomendaciones usuales de lúmenes son en los cientos, así que este rendimiento se puede inferir que es bajo. La vida útil es en promedio alrededor de 1000 a 1500horas, aunque este valor es dependiente de los ciclos que este tenga. También cabe recalcar que este tipo de lámparas al cabo de media vida existe una pérdida de entre 10% y 15% de la luminosidad debido al oscurecimiento del bulbo por partículas desprendidas del filamento. A pesar de esto ofrecen ventajas bastante notadas en climas fríos, donde la luz solar es escaza el índice de reproducción cromática es muy alto permitiendo tener una visión con colores reales sin distorsión. Fácil regulación de la intensidad de la luz y el precio de compra es baja.

Lámparas halógenas

Este tipo de lámparas basan su funcionamiento en el mismo principio de las lámparas incandescentes, se mantiene siempre un bulbo, y un filamento que es calentado a una temperatura alta debido a corrientes eléctricas y esto conlleva a una emisión de luz. Los cambios que esta tiene a comparación a las lámparas incandescentes normales es su composición, el bulbo es fabricado con cristales de cuarzo que tiene como característica una alta resistencia al calor y en lugar de encontrarse el filamento al vacío se llena el bulbo con un gas halógeno que evita que el filamento se degrade con su uso.

Las desventajas de este tipo de luminaria siguen siendo bastante parecidas a la incandescente convencional, su rendimiento medio de flujo sigue siendo bajo, aunque un poco mejor que en la

convencional. Esta luminaria también presenta el fenómeno de emitir un alto índice de radiaciones ultravioletas que la vuelve inviable en lámparas de un centro de trabajo o lectura ya que dañaría a los ojos.

Lámparas fluorescentes

Este tipo de luminarias son sustitutas directas de las lámparas incandescentes. Estas se componen de diferentes partes, poseen un balastro electrónico y un tubo con revestimiento de fosforo. Su funcionamiento es bastante sencillo, se crea un arco eléctrico en los electrodos del tubo, esto hace que los átomos de mercurio emitan luz ultravioleta esta se encarga de excitar el revestimiento de fosforo lo que permite que se emita luz visible. Esta tecnología posee dos variantes, LFL (linear fluorescent lamp) son tubos largos lineales y la CFL que son una versión en miniatura y compacta de los LFL, poseen un funcionamiento igual y son la versión compacta con tubos más pequeños y en espiral para sustituir las bombillas.

Tiene ventajas muy marcadas a comparación a los incandescentes ya que consumen aproximadamente 75% menos de electricidad, los costos de operación son bajos, tienen una larga vida útil, una reproducción cromática inferior a la incandescentes, pero bastante buena. Sus desventajas es que se requiere equipo de control para su operación, los encendidos y apagados frecuente pueden acortar el tiempo de vida de la lampara y por último es el contenido de mercurio en ellas siendo este un elemento toxico.

Lámparas de descarga de alta intensidad

Este tipo de luminarias ocupan otro fenómeno físico para su emisión de luz. En este tipo de lámparas se aprovecha un fenómeno llamado “luminiscencia” en la que se produce una radiación luminosa por la excitación de un gas que está siendo expuesto a descargas eléctricas entre dos electrodos. Este tipo de luminarias requiere de dos elementos adicionales para su funcionamiento, el balasto y un cebador. El balasto consiste en una reactancia que tiene como función la limitación de la corriente que es suministrada y el cebador permite generar una descarga suficiente de tensión para que el gas dentro de la lampara reaccione y emita luz. De esta clase de luminarias existen diferencias entre el compuesto dentro que puede ser vapor de mercurio. vapor de sodio o de haluro/aditivo metálico, además de las presiones en las que se encuentran ya sean altas o bajas.

Estas luminarias al ser encendidas solo presentan un porcentaje pequeño de emisión de luz y tardan unos minutos en alcanzar su máximo brillo, también presentan un problema de encendido y

apagado continuo ya que estas al ser apagadas necesitan un periodo de enfriamiento para volver a ser utilizadas. La iluminación que utiliza esta tecnología es más que todo usada en exteriores como alumbrado público o proyección de áreas e instalaciones deportivas. En interiores se utiliza en grandes tiendas comerciales, almacenes o fábricas.

Lámparas de diodos emisores de luz (LED)

Las lámparas y luminarias LED son una de las tecnologías que más se están expandiendo en el ámbito de iluminación en el mundo, en nuestro país es sencillo notar este cambio sobre otras tecnologías y a medida su rendimiento mejore y sus precios sean menores la expansión comercial seguirá siendo acelerada y la sustitución de luz tradicional también se dará.

Las lámparas LED ofrecen características únicas como que son compactas, su vida útil es larga, resistente a roturas y a vibraciones. Estas se encienden al instante y en algunos modelos se puede regular la intensidad de su luz. Sus componentes usuales son los diodos emisores de luz y una parte de circuito de operación que los controla. Este dispositivo es de un muy bajo consumo de energía por lo que el circuito de control sirve para bajar la tensión con la que se alimentan. Este tipo de luminaria posee una vida útil extremadamente larga y cuenta con una gran desventaja que requiere un circuito de operación.

Tabla 8. Especificaciones de desempeño típicas de diferentes tecnologías de luminarias. Fuente; (Organizacion de Naciones Unidas, 2016).

Tecnología		**Rango de Eficacia Luminosa**	**Vida útil**	**Índice de Reproducción Cromática (Ra)**	**Temperatura de color**
Incandescente		8-17 lm/W	1000-1500 h	100	2600-2800 K
Halógena		11-21 lm/W	2000-3000 h	100	2800-3000 K
Fluorescente	**CFL**	50-70 lm/W	6000-1500 h	70-85	2500-6500 K
	LFL	80-110 lm/W	15000-30000 h	60-95	2700-6500 K
Descarga de alta intensidad	**Vapor de mercurio**	44-55 lm/W	20000 h	15-50	3900-5700 K
	Vapor sodio de alta presión	105-125 lm/W	20000-240000 h	25	2000-2100 K
	Haluro/aditivos metálicos	80-100 lm/W	10000-20000 h	65-85	4000-5000 K
Diodos emisores de luz	**Lampara**	60-130 lm/W	15000-30000 h	70-95	2700-6500 K
	Luminaria	80-150 lm/W	20000-60000 h	80-95	2700-6500 K

CAPITULO 3: METODOLOGIA

Tipo de investigación: Analítico

Nivel o alcance de investigación: Descriptivo

Enfoque: Mixto

3.1 Matriz de consistencia

- Variable de evaluación:
  La iluminación de salones de clases

- Variables de calibración:
  Confort visual
  Eficiencia energética

. Tabla 9. Matriz de consistencia. Fuente: Elaboración propia

TIPO	PROBLEMAS	OBJETIVO	PLANTEAMIENTO	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL
GENERAL	¿Qué variables deben tenerse en cuenta en la iluminación de salones de clases?	Evaluar las variables relevantes que afectan el consumo de energía y el confort visual de las luminarias en los salones de clases de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, como la intensidad de luz, la temperatura ambiente, el número de alumnos presentes en el salón, la uniformidad de la luz y el deslumbramiento, entre otros.	El estudio de la iluminación basado en el concepto de eficiencia energética y confort visual permitirá verificar la condición actual de la iluminación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.	La iluminación de los salones de clases (v. evaluación)	Iluminación: Se define como el flujo luminoso que incide sobre una superficie.
ESPECÍFICOS	¿Cómo se puede saber si es óptima la iluminación en los salones de clases?	Desarrollar modelos de simulación, en DIAlux, que permitan predecir el consumo de energía y el confort visual de las luminarias en las diferentes condiciones de iluminación en los salones de clases	La nueva ubicación de las luminarias no es la óptima para los salones de clases	Confort visual y eficiencia energética (v. calibración)	Confort visual: Grado de satisfacción visual creado por la iluminación
	¿Coinciden los datos lumínicos reales con los simulados?	Validar las simulaciones mediante la comparación de los resultados obtenidos en la recolección de datos reales obtenidos en la medición de variables y los obtenidos con las simulaciones	Los datos de simulación coinciden con los datos reales obtenidos con instrumentos de medición		Eficiencia energética: Hace referencia a la capacidad para obtener los mejores resultados en cualquier actividad empleando la menor cantidad posible de recursos energéticos.
	¿Qué influencia han tenido las normativas en la iluminación de la FIA?	Comparar los valores obtenidos en el muestreo con los recomendados en el decreto No 89 “REGLAMENTO GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO” con interés en los artículos 130 al 136 referente a iluminación y la norma europea de iluminación de interiores UNE-EN 12464-1	No se han tomado en cuenta todas las normativas en la iluminación de los salones de clases de la FIA		
	¿Cómo afecta el confort visual y la eficiencia energética a la iluminación de la FIA?	Proponer recomendaciones para la mejora del rendimiento energético y el confort visual de las luminarias en los salones de clases, basadas en los resultados obtenidos mediante los modelos de simulaciones	La iluminación de la FIA puede ser mejorada		

CAPITULO 4: ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

4.1 Aspectos generales

Debido a que el presente trabajo de investigación consiste en la verificación de parámetros lumínicos de los salones de clase de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, se deben conocer los parámetros de interés por lo que en esta sección se brindará una breve explicación de dichos parámetros para luego mostrar el análisis realizado a partir de los datos obtenidos de las mediciones en los salones de clase. Si se quiere una explicación más precisa de dichos conceptos se puede encontrar en el desarrollo del Capítulo II de esta misma investigación.

Los salones de clase de interés son los salones de los edificios B, C, D y el auditorio Miguel Mármol, todos pertenecientes a la misma facultad. Es importante mencionar que los parámetros lumínicos fueron tomados del edificio B como referencia, ya que debido a que la facultad aún sigue en remodelaciones no se pudo tomar los datos de los demás edificios, aunque esto no supone una dificultad a la hora de realizar el análisis lumínico, ya que todos los salones de los edificios B, C y D son iguales y tienen las mismas luminarias y la misma distribución; a excepción del edificio B el cual tiene un anexo el cual si se incluye una toma de datos específica para este. Cada edificio consta de 4 niveles, el primer nivel solamente tiene una salón suya numeración termina en 11, el primer 1 representa el nivel y el segundo 1 representa la posición del salón en ese nivel comenzando de izquierda hacia la derecha; el segundo nivel consta de dos salones, cuya numeración es 21 y 22 siguiendo la misma lógica del primer nivel; el tercer nivel, al igual que el segundo nivel consta de dos salones cuya numeración es 31 y 32; y por último se tiene el cuarto nivel, el cual posee 4 salones cuyas numeraciones son: 41, 42, 43 y 44 siguiendo la misma lógica explicada anteriormente. También debe mencionarse que el auditorio Mármol es un espacio el cual no fue

modificado en la remodelación de la universidad, por lo que esto posiblemente se vea reflejado en los datos medidos dentro de este recinto.

Ilustración 18. Salón B11 aún con materiales por remodelaciones en los salones de clase.

Para la obtención de los parámetros lumínicos se realizó una visita técnica a los salones y se realizó la medición de la iluminancia con ayuda de un luxómetro, para ser más específico, el luxómetro Ingco ING_HETLU01; el método utilizado para la toma de datos fue el método de la cuadrícula el cual será explicado posteriormente. Una vez obtenido los datos de iluminancia, aplicando el método de la cuadrícula se puede obtener los valores de iluminancia promedio, uniformidad y el valor de eficiencia energética de iluminación. Estos parámetros serán calculados de forma manual y posteriormente se obtendrán los valores ideales por medio de simulación, utilizando el software especializado en iluminación DIALux Evo. Una vez obtenido estos datos se compararán los datos calculados manualmente, los datos de simulación y se verificará que se cumplan las normativas correspondientes.

4.1.1. Luminarias instaladas

La luminaria instalada en los salones de clase es el panel LED 2X4 72 w de la marca Light-tec. Este es un panel LED cuyas características mejoran en muchos aspectos en comparación a las luminarias que antes estaban instaladas en los salones de clase, a continuación, se muestra un cuadro con las principales características de este panel LED.

4.2 Parámetros de estudio calculados

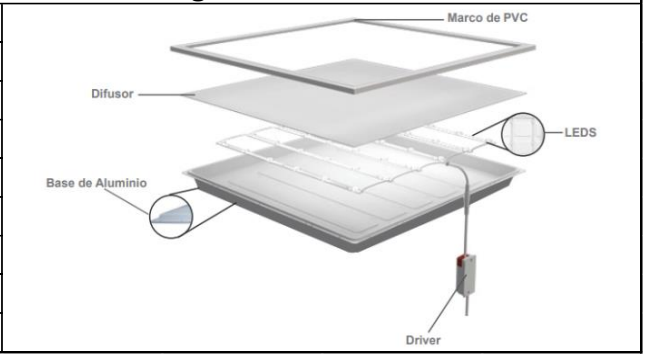
Panel 2x4 72 w Ligh-tec		
Medidas	2 x 4 ft	
Voltaje	100 - 277 V	
Consumo	72 Watts	
Eficiencia	100 lm/w	
Horas de vida	50,000 hrs	
Color	6000 k	
Factor de potencia	> 0.9	
CRI	≥ 80	
Lumenes	7,200 lm	

Ilustración 19. Características de panel LED instalado en salones de clase.

4.2.1 Método de la cuadrícula

Consiste en la división del interior de la zona de estudio en varias áreas iguales, cada una de ellas idealmente cuadrada. Se mide la iluminancia existente en el centro de cada área a la altura de trabajo, esto se consigue con la utilización de un luxómetro; y luego se calcula el valor medio de iluminancia en la zona de estudio. En la precisión de la iluminancia media influye el número de puntos de medición utilizados, por lo que se debe obtener un número mínimo de puntos de medición, para esto se calcula un índice local cuya fórmula es la siguiente:

$$Índice\ local = \frac{Largo * Ancho}{Altura\ de\ Montaje * (Largo + Ancho)}$$

Donde largo y ancho son las dimensiones de la zona que se está analizando y la altura de montaje es la distancia vertical entre el centro de la fuente de luz y el plano de trabajo.

Una vez obtenido el índice local se obtiene la cantidad de puntos mínimos de medición, con la siguiente fórmula:

$$Número\ mínimo\ de\ puntos\ de\ medición = (k + 2)^2$$

Donde “k” es el valor del índice local redondeado al entero superior, excepto para los valores de “Índice local” iguales o mayores que 3, el valor de k es 4. Una vez obtenido el número mínimo de puntos de medición se procede a hacer toma de datos con el luxómetro para luego analizar los datos y encontrar los parámetros de interés (Ministerio de Educación de Francia).

A continuación, se muestra como fue la aplicación de este método a uno de los salones de estudio de esta investigación, en específico el salón B11.

Primero, se deben medir las dimensiones del salón de interés, por lo que se toma la medida de largo, ancho y altura de trabajo, en el caso del salón se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 10. Dimensiones salón B11.

Salón	**Largo (m)**	**Ancho (m)**	**Altura de trabajo (m)**
B11	17.16	6.57	2.47

Una vez se tienen las dimensiones del salón se procede a calcular el índice local, como se muestra a continuación:

$$Índice\ local = \frac{17.16m * 6.57m}{2.47m * (17.16m + 6.57m)} = 1.92$$

$$k \approx 2$$

Teniendo el índice local (k) se debe sacar el número mínimo de mediciones (N).

$$Número\ mínimo\ de\ puntos\ de\ medición = (2 + 2)^2 = 16$$

Por lo que, según los cálculos el número mínimo de puntos de medición que se deben tomar en el salón B11 son 16, al ser un salón rectangular las divisiones quedan rectangulares, por lo tanto, se sabe que por lo menos se deben tomar 16 medidas, en el caso del salón B11 se decidió tomar 20 mediciones, se debe recordar que las mediciones deben tomarse lo más central posible (haciendo uso del luxómetro). En nuestro caso, se utilizó una mesa de 7 cm de alto para tomar las mediciones tal y como se muestra en la siguiente imagen:

Del salón B11 se obtuvieron los siguientes datos de iluminación:

Ilustración 20. Foto de luxómetro cuando se realizó la medición en salón B11.

Tabla 11. Datos de iluminancia en salón B11

PIZARRA				
1251	1332	1141	969.8	ENTRADAS
1352	2040	1257	1161	
1356	1492	1356	1095	
1308	1551	1404	1228	
1640	1475	960	803	

En la Tabla 11 se puede observar todos los datos de iluminancia en los distintos puntos del salón B11. Es importante mencionar que las mediciones de este salón fueron hechas un día soleado con pocas nubes a las 9:30 am. Una vez obtenido estos datos se puede continuar con el siguiente paso, que es el cálculo de la iluminancia promedio.

Cabe destacar que este mismo procedimiento se realizó en todos los salones del edificio B y el auditorio Mármol, a continuación, se muestra un cuadro resumen con todas estas mediciones:

Tabla 12. Resumen de método de la cuadricula en los salones del edificio B y auditorio Mármol.

Salón	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Índice local	Índice local redondeado (k)	Número mínimo de mediciones (N)
B11	17.16	6.57	2.47	1.92	2.00	16
B21	13.86	6.51	2.52	1.76	2.00	16
B22	13.86	6.51	2.52	1.76	2.00	16
B31	13.86	6.51	2.52	1.76	2.00	16
B32	13.86	6.51	2.52	1.76	2.00	16
B41	6.82	6.55	3.63	0.92	1.00	9
B42	6.82	6.55	3.63	0.92	1.00	9
B43	6.82	6.55	3.63	0.92	1.00	9
B44	6.82	6.55	3.63	0.92	1.00	9
Anexo B31	11.78	5.68	2.51	1.53	2.00	16
Anexo B41	11.78	5.68	2.51	1.53	2.00	16
Mármol	21.84	16.32	4.28	2.18	3.00	25

Una vez se obtiene el número de puntos mínimos de cada salón se hacen las respectivas mediciones y se presentan como en la Tabla 12, si quiere observar los datos obtenidos de las iluminancias de todos los salones véase en la sección de anexos.

4.2.2 Iluminancia promedio

Este es un parámetro que permite determinar un dato representante de iluminancia en las zonas analizadas, para encontrar este dato se debe sacar la media aritmética de las iluminancias obtenidas por medio del método de la cuadrícula. Siguiendo con el ejemplo del salón B11, la iluminancia promedio sería la media aritmética de los datos presentados en la Tabla 11 con lo que se tendría:

$$Iluminancia\ promedio = 1{,}308.59\ lx$$

Cabe destacar que este dato por sí solo no es muy fiable pues los datos de iluminancia pueden variar demasiado entre sí por lo que es importante encontrar la uniformidad para determinar la fiabilidad de este dato.

4.2.3 Uniformidad (U)

El índice de uniformidad o uniformidad (U) es un parámetro lumínico que permite analizar la iluminancia en un área de trabajo y su entorno inmediato, es importante tener en cuenta este parámetro a la hora de analizar una zona en específico (Cornejo Salvador, Escobar Romero, & Ramírez Mendoza, 2015). Su fórmula es:

$$U = \frac{Iluminancia\ mínima}{Iluminancia\ media}$$

Las zonas de trabajo deben ser lo más uniforme posible. Los valores de uniformidad no deben ser mayores que loso valores mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 13. Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de tarea según norma UNE 12464-1

Iluminancia de tarea (lx)	**Iluminancia de áreas circundantes inmediatas (lx)**
≥750	500
500	300
300	200
≤200	E_{Tarea}
Uniformidad: ≥ 0.7	Uniformidad ≥ 0.5

Para el caso de la uniformidad del salón B11 quedaría:

$$U = \frac{803\ lx}{1{,}308.59\ lx} = 0.61$$

Por lo visto, el índice de uniformidad del salón B11 está al límite, esto puede ser debido a que la medición mínima pudo haber sido afectada por algún factor externo cuando se realizó la medición. Este mismo procedimiento se realizó para los demás salones de interés antes mencionados con lo que se obtuvo la siguiente información:

Tabla 14. Índice de uniformidad de los salones estudiados.

Salón	Iluminancia mínima (lx)	Iluminancia Media (lx)	Uniformidad (U)
B11	803.00	1308.59	0.61
B21	977.10	1179.41	0.83
B22	1042.00	1197.94	0.87
B31	1045.00	1191.13	0.88
B32	1070.00	1231.13	0.87
B41	1237.00	1374.56	0.90
B42	1254.00	1333.00	0.94
B43	1298.00	1365.00	0.95
B44	1246.00	1351.44	0.92
Anexo B31	1320.00	1838.88	0.72
Anexo B41	1452.00	1728.06	0.84
Mármol	214.60	313.44	0.68

De la Tabla 14 se puede observar que en su mayoría lo salones cumplen con el rango de uniformidad, solamente el salón B11 y el auditorio Mármol tienen un valor relativamente bajo, en el caso del auditorio Mármol se deben tener las consideraciones antes mencionadas.

4.2.4 Valor de eficiencia energética de iluminación (VEEI)

Este es un parámetro que se usa para la iluminación de un área o local que contenga un determinado uso por lo que tendrá un estándar de parámetros lumínicos y no es útil para zonas que expongan productos al público como por ejemplo la iluminación de emergencia que señala los puntos de salidas seguras.

Este se expresa en watts por metro cuadrado por cada 100 luxes y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$VEEI = \frac{100 * P}{S * E_m}$$

Donde:

P: Potencia de la lampara más el equipo auxiliar [W]

S: Área iluminada [m^2]

E_m: Iluminancia media sostenida [lux]

Para el caso del salón B11 primero se debe encontrar la potencia total consumida en el salón para esto se debe conocer la cantidad de luminarias instaladas y luego se debe multiplicar por el valor de la potencia consumida por cada luminaria, para el salón B11 se tiene:

$$Potencia\ total = Potencia\ de\ cada\ luminaria * Cantidad\ de\ luminarias$$

$$Potencia\ total = 72\ W * 18 = 1{,}296\ W$$

Luego, se debe conocer el área que cubre el salón B11, tomando en cuenta sus dimensiones se tiene:

$$Superficie\ total = Largo * Ancho$$

$$Superficie\ total = 17.16\ m * 6.57\ m = 112.80\ m$$

Por último, se debe conocer la iluminancia promedio, la cual ya se calculó anteriormente y se determinó que tiene un valor de 1,308.59 lx

Con estos datos se tiene que el valor de VEEI del salón B11 es:

$$VEEI = \frac{100 * 1{,}296}{112.80 * 1308.59} = 0.88 \frac{W}{m^2}$$

El valor de VEEI según la normativa española DB HE Ahorro de energía no debe sobrepasar el valor de 3.5 para aulas y 8 para auditorios. Como se puede observar el VEEI del salón B11 da muy por debajo de este valor, esto debió a la tecnología de las luminarias instaladas en este salón.

A manera de resumen se muestra en la siguiente tabla los valores de VEEI de los demás salones analizados, si desea conocer los datos de donde fueron calculados véase en la sección de anexos.

Tabla 15. Valor de Eficiencia Energética Instalada en los salones de estudio.

Salón	Potencia de c/luminaria (W)	Cantidad de luminarias	Potencia total (W)		Superficie (W/m^2)	Iluminancia promedio (lx)	VEE (W/m^2) / 100 lx
B11	72	18	1296		112.80	1308.59	0.88
B21	72	12	864		90.25	1179.41	0.81
B22	72	12	864		90.25	1197.94	0.80
B31	72	12	864		90.25	1191.13	0.80
B32	72	12	864		90.25	1231.13	0.78
B41	72	6	432		44.66	1374.56	0.70
B42	72	6	432		44.66	1333.00	0.73
B43	72	6	432		44.66	1365.00	0.71
B44	72	6	432		44.66	1351.44	0.72
Anexo B31	72	9	648		66.91	1838.88	0.53
Anexo B41	72	9	648		66.91	1728.06	0.56
Mármol	107	39	4173	6173	356.43	313.44	5.53
	100	20	2000				

Como se puede observar en la Tabla 15 los valores de VEEI son muy bajos, esto es bueno ya que significa que tienen una buena eficiencia energética, además, se puede observar que el salón que tiene mayor VEEI es el auditorio Mármol, esto debido a que como se mencionó anteriormente este no fue remodelado por lo que sus luminarias no son tan eficientes como las instaladas en los otros salones.

A manera de resumen se presentan la siguiente tabla con la información obtenida a partir de las mediciones y cálculos realizados en esta sección:

Tabla 16. Tabla resumen de parámetros lumínicos calculados.

Salón	Tipo de iluminación : Natural / Artificial / Mixta	Tipo de fuente lumínica: Incandescente / Fluorescente lineal / LED /Mixtas	Iluminación : General / Localizada / Mixta	Valor de uniformidad U	Iluminancia E (lx)	Valor de Eficiencia Energética de iluminación VEEI (W/m^2)
B11	Mixta	LED	General	0.61	1308.59	0.88
B21	Mixta	LED	General	0.83	1179.41	0.81
B22	Mixta	LED	General	0.87	1197.94	0.80
B31	Mixta	LED	General	0.88	1191.13	0.80
B32	Mixta	LED	General	0.87	1231.13	0.78
B41	Mixta	LED	General	0.90	1374.56	0.70
B42	Mixta	LED	General	0.94	1333.00	0.73
B43	Mixta	LED	General	0.95	1365.00	0.71
B44	Mixta	LED	General	0.92	1351.44	0.72
Anexo B31	Mixta	LED	General	0.72	1838.88	0.53
Anexo B41	Mixta	LED	General	0.84	1728.06	0.56
Mármol	Mixta	Fluorescente lineal	General	0.68	313.44	5.53

4.3 Análisis en DIALux

Existen una variedad de herramientas que te pueden ayudar a la hora de diseñar o evaluar la iluminación de espacios interiores o exteriores, en esta tesis nos apoyaremos con el software DIALux Evo (se usó la versión 12 en las últimas etapas de simulación) que ofrece la posibilidad de estudio de áreas interiores, exteriores, luces de emergencia, iluminación de caminos, entre otros. Entre las ventajas que ofrece este programa es que posee una versión gratuita en la cual estudiantes pueden trabajar y experimentar con esta increíble herramienta. Existen una variedad de proveedores de luminarias que están asociados con este software por lo que la variedad de catálogos

y luminarias disponibles es vasta. A pesar de esto en ocasiones es necesario la importación de archivos de luminarias; lastimosamente esa función se encuentra en una versión paga del software, en el caso de este trabajo de estudio fue necesario la adquisición de la membresía parcial del software para la obtener los resultados más fiables al utilizar el modelo de luminarias usada en los edificios. Por lo cual cabe recalcar que si en algún paso de los siguientes el programa pide membresía se recomienda la adquisición de esta o la modificación de elección de luminarias con las de marcas afiliadas. El programa permite la modificación parcial de las mismas para poder llegar a una aproximación aceptable.

Para la instalación de DIALux Evo es necesario ingresar a la página oficial siguiente https://www.dialux.com/es-ES/ donde debes ir a la opción de descarga gratis, al dar clic te redirige a una página donde la descarga del programa inicia de manera automática, en caso de que no inicie existe otro botón para iniciar la descarga manual. También se recomienda la creación de una cuenta en DIALux con esto algunas funcionalidades como la búsqueda de luminarias en línea y la exportación a tu computadora son realizadas de manera sencilla y rápida, entre otras cosas. Al terminar la descarga se ejecuta el archivo tipo .exe y este instalara el programa DIALux Evo y todos los archivos necesarios para su funcionamiento, este tarda alrededor de 10 minutos, posterior a esto, está listo para usarse.

4.3.1 Construcción de simulación en DIALux Evo

Para la construcción del área de estudio en DIALux el primer paso es de abrir la aplicación al abrir se te presenta un menú de inicio con 3 secciones, la primera sección se muestra para la creación de un nuevo proyecto, en esta se ofrece las posibilidades de iniciar un proyecto en blanco y puedes elegir si es un lugar interior, un edificio o si planeas la creación de área interior y exterior. También existe la posibilidad de importar proyectos de otras aplicaciones, se puede la importación de un plano 2D (AutoCAD u otros) utilizando la opción de plan de importación, con este te puedes ir guiando y usar las opciones de construcción de DIALux. La última opción de importación de IFC es la más sencilla si ya se tiene un plano 3D de la ubicación, con este se puede importar el edificio completo para luego agregar lo necesario de luminarias y definición del estudio lumínico.

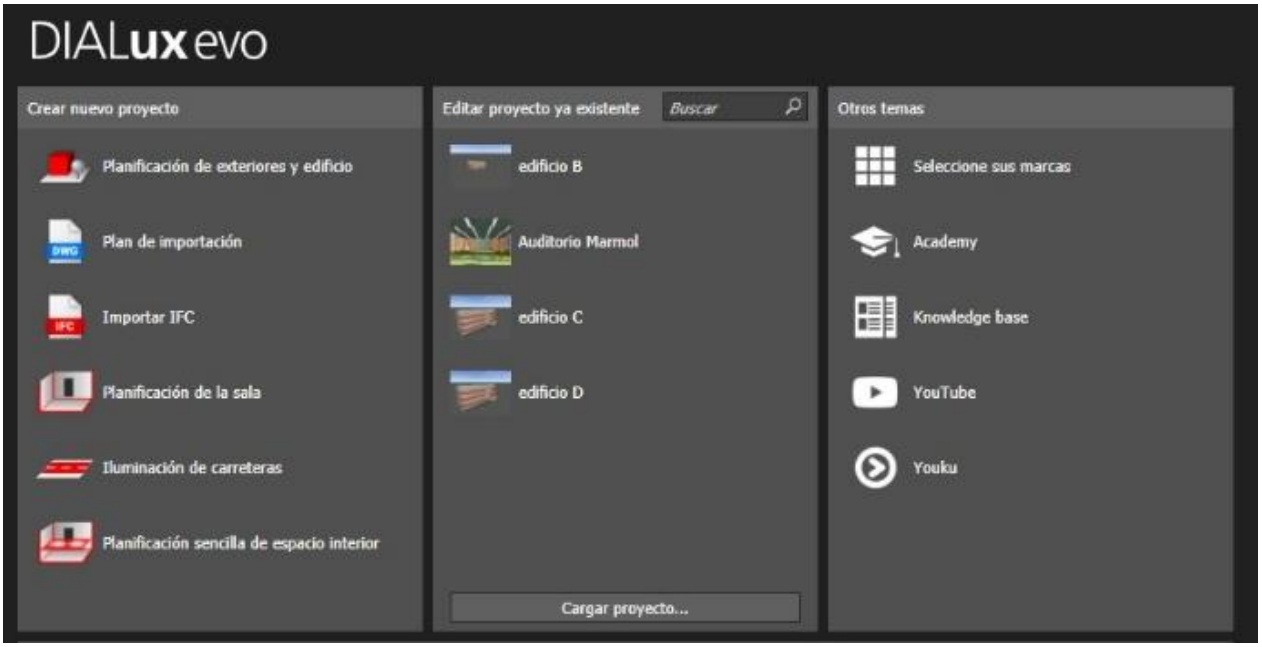


Ilustración 22. Inicio de aplicación DIALux.

Con el fin de enseñar el flujo de trabajo realizado en el desarrollo de la simulación se tomará como ejemplo el Edificio B de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y luego se presentará tablas resúmenes de los resultados obtenidos en las demás ubicaciones de interés.

Ilustración 21.Simulación en DIALux de Edificio B de Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador

Iniciamos el proyecto seleccionando planificación de exteriores y edificio, dentro de esto iniciaremos en la ventana de construcción de DIALux con un lienzo en blanco, si se posee un plano de AutoCAD es posible cargar el plano, haciendo esto tenemos que buscar el archivo o imagen que utilizaremos de guía y el asistente de DIALux nos pedirá que definamos el punto de origen y el eje X de este, luego el siguiente paso es la determinación de la escala, de igual manera se elige una sección del plano y se introduce la medida que este poseerá.

Con esto ya tenemos el plano introducido en nuestro programa y es posible ir a la siguiente etapa de construcción que es designar el área del terreno. Se dibuja el área de terreno y se le da nombre, una descripción de la locación, podemos escoger un perfil del tipo de área y la aplicación para que los valores esperados de lumínicos estén establecidos, en este caso se dejó como predeterminado ya que nuestra área de interés es dentro de los salones por lo que no hay luminarias exteriores incluidas. Es importante la definición de la ubicación del local a la hora de simular, en este caso se agregó la ciudad, longitud y latitud del edificio obtenidos con la herramienta de Google Maps, además de esto la orientación al norte del edificio como es demostrado en la Ilustración 23.

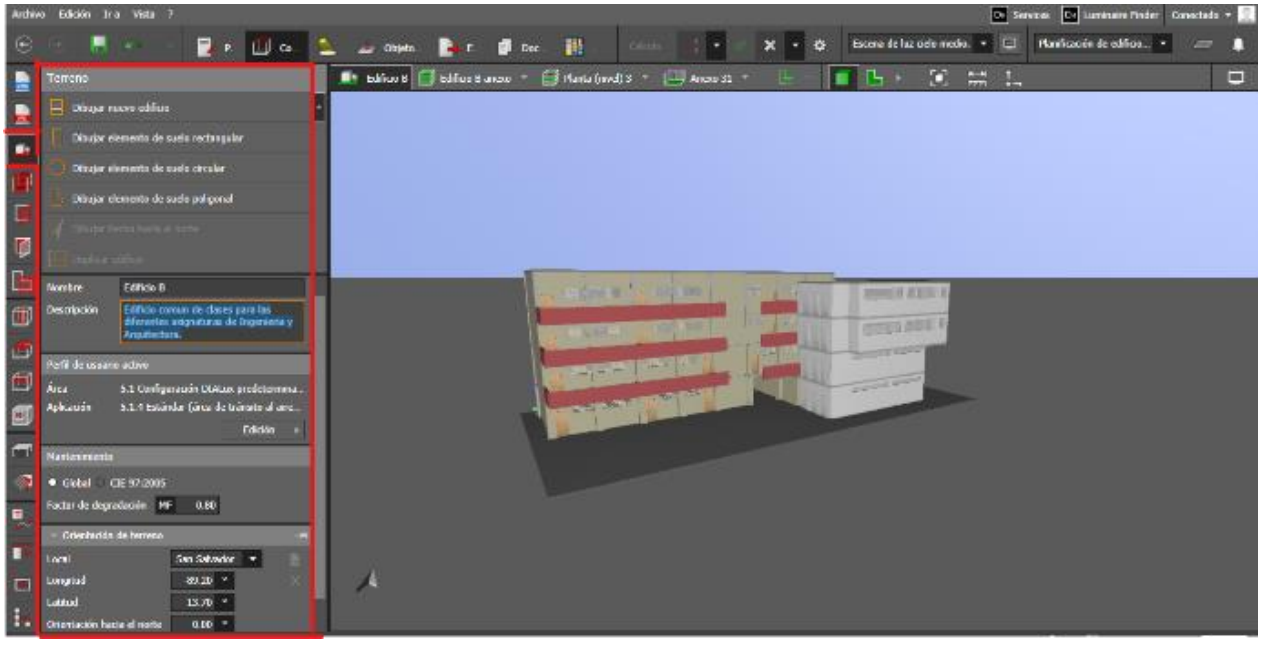


Ilustración 23. Definición de locación y orientación del área de interés.

Después de introducir estos datos relevantes se construye el elemento de estudio, usando las herramientas obtenidas en la izquierda para la construcción, este te guía en un flujo de creación del edificio y sus respectivas plantas, áreas, aberturas de esta, elementos de fachada entre otros. Hasta llegar a la opción de áreas, esta opción se verá repetida en diferentes pestañas debido a su importancia. Abajo del apartado de áreas existen otras opciones de agregar techo, cielo falso, columnas, escalones, etc.

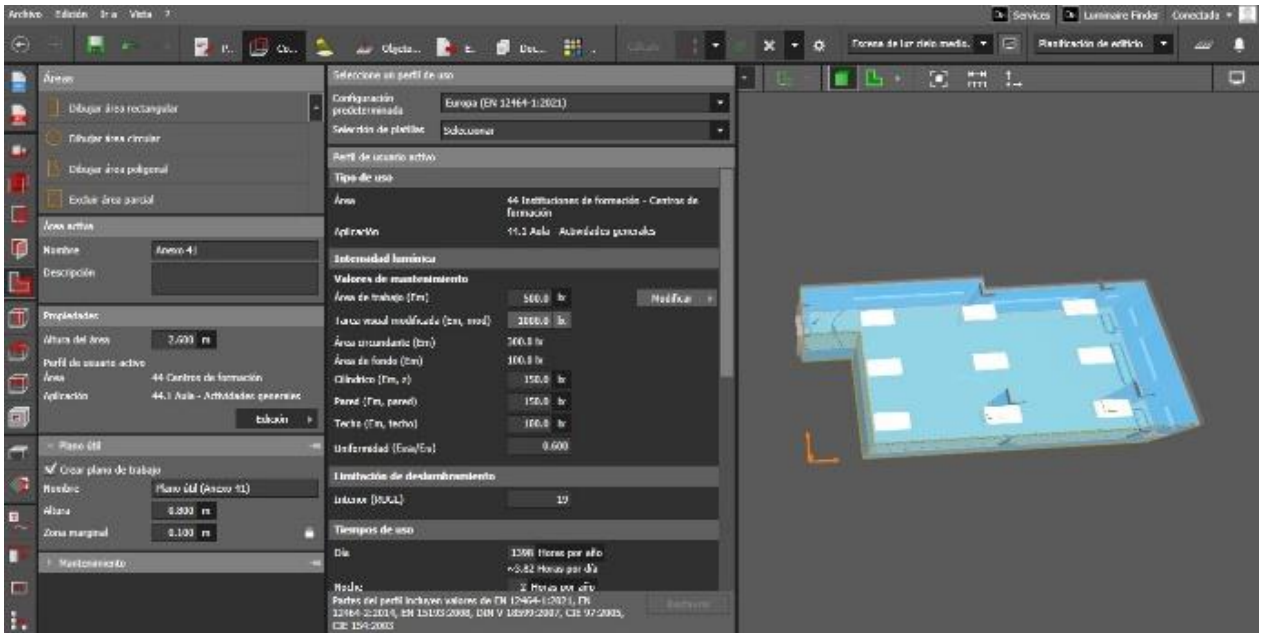


Ilustración 24. Establecimiento de las áreas en la etapa de construcción.

Viendo la Ilustración 24 podemos ver que la sección de área es bastante sencilla te da la opción de dibujar un área dentro del edificio, esto designara un área de trabajo que es de interés en el estudio, la definición de sus propiedades es de suma importancia ya que se plantearan en base a las normas que esta debería ser comparada o diseñada, como es observable en nuestro caso se seleccionó el perfil para un área de tipo Institución de formación/Centro de formación y el salón como tal cumple una aplicación de aula-actividades generales. Este nos plantea los valores esperados en la norma europea EN-12464, en esta podemos ver que se necesita una Em de al menos 500 lux, uniformidad de 0.6, entre otras cosas.

En este perfil existe el espacio de definición de tiempos de uso, este apartado es importante para calcular el consumo de energía al año que estos salones pueden presentar además de poder ofrecer una visión clara del ahorro que el cambio de luminarias a LED trajo para la Facultad de Ingeniería y Arquitectura para estos casos se hicieron ciertas asunciones de utilización:

Tiempo de clases: 100 minutos

Inicio de clases: 6:20 am

Fin de clases: 8:15 pm

Ciclos: 2 al año (16 semanas por ciclo y 2 semanas evaluaciones finales)

Semanas de uso: 36 semanas

Factor de uso diurno: 50% (se considera el uso de luminarias a tempranas horas de la mañana y por la tarde)

Factor de uso nocturno: 20% (se considera una baja utilización de salones en horario nocturno)

$$Tiempo\ de\ uso_{diurno} = horas\ al\ dia * dias\ a\ la\ semana * semanas * Factor\ de\ uso$$

$$Tiempo\ de\ uso_{diurno} = 14\ h * 36\frac{semanas}{año} * 5\frac{dias}{semana} * 0.5$$

$$Tiempo\ de\ uso_{diurno} = 1260\frac{h}{año}$$

$$Tiempo\ de\ uso_{nocturno} = horas\ de\ noche * dias\ a\ la\ semana * semanas * Factor\ de\ uso$$

$$Tiempo\ de\ uso_{nocturno} = 2\ h * 36\frac{semanas}{año} * 5\frac{dias}{semana} * 0.2$$

$$Tiempo\ de\ uso_{nocturno} = 72\frac{h}{año}$$

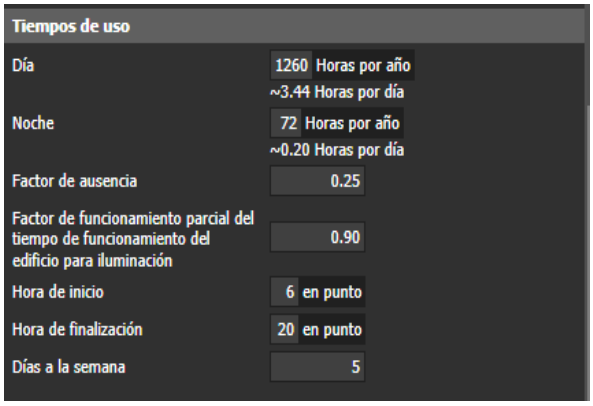


Ilustración 25. Definición de valores de tiempo de uso de salones en DIALux.

En la Ilustración 25 también se definen los parámetros básicos del área útil o área a utilizar, esta es el área de interés donde el trabajo se espera ser realizado, en el caso de los salones nuestra área útil es donde se encuentran los escritorios, la altura promedio de estos se encuentran entre 60 cm a 80 cm, en el caso de la medición en campo se apoyó con el uso de una mesa plegable donde se montón el instrumento de medición, esta al ser medida dio una valor de 78 cm de altura, en el caso de la simulación se dejó una altura del plano útil de 80 cm para obtener resultados más acertados.

Por último, es importante la selección de materiales y/o pintura que los salones tendrán, para esto existe un apartado el cual incluye diversas herramientas para la selección e implementación.

Ilustración 26. Definición de materiales en simulación de DIALux.

4.3.2 Sistema de iluminación en DIALux

Al tener el edificio ya construido con los locales que se buscan estudiar y sus respectivas áreas, texturas y/o muebles es posible la inserción de las luminarias. DIALux posee un catálogo de empresas que están asociadas con ellos por lo que la selección de una luminaria es bastante sencilla, también existe la opción de importar un archivo .IES y .LDT si las luminarias que posees no son de alguna compañía asociada a DIALux, esto puede traer ciertos problemas ya que es necesario la membresía para el uso de esta función.

Ilustración 27. Lista parcial de empresas que tienen su catálogo lumínico con DIALux.

En el caso del edificio B, C y D las luminarias instaladas son paneles led 2x4, con 7200 lúmenes con una potencia de 72W de la marca Light-tec. En el auditorio Miguel Mármol se encuentran luminarias de tubos fluorescentes lineales de 32W en la carcasa se encuentran 3 tubos y es de 2x4. Para el caso de los paneles led encontrar el archivo .IES fue bastante sencillo debido a que se encuentra en la página oficial de Light-tec, este al ser exportado nos encontramos con un asistente para la configuración final del archivo donde se especifica el tamaño de la carcasa de la luminaria y el área en la que esta presenta luminosidad. Para el caso del auditorio Miguel Mármol los

catálogos actuales no poseen luminarias que ocupen la tecnología de fluorescente lineal, estas ahora ofrecen una alternativa de tubos led, por lo que para la simulación fue necesario procurar un archivo .IES de una luminaria de tubos con las mismas especificaciones lumínicas lastimosamente las unidades de medida de carcasa no dan con las deseadas por lo que se notara que son más pequeñas, aun así los datos lumínicos que se configuraron son los correctos para el tipo de luminaria por lo que se espera que los resultados sean lo más cercano a los valores reales.

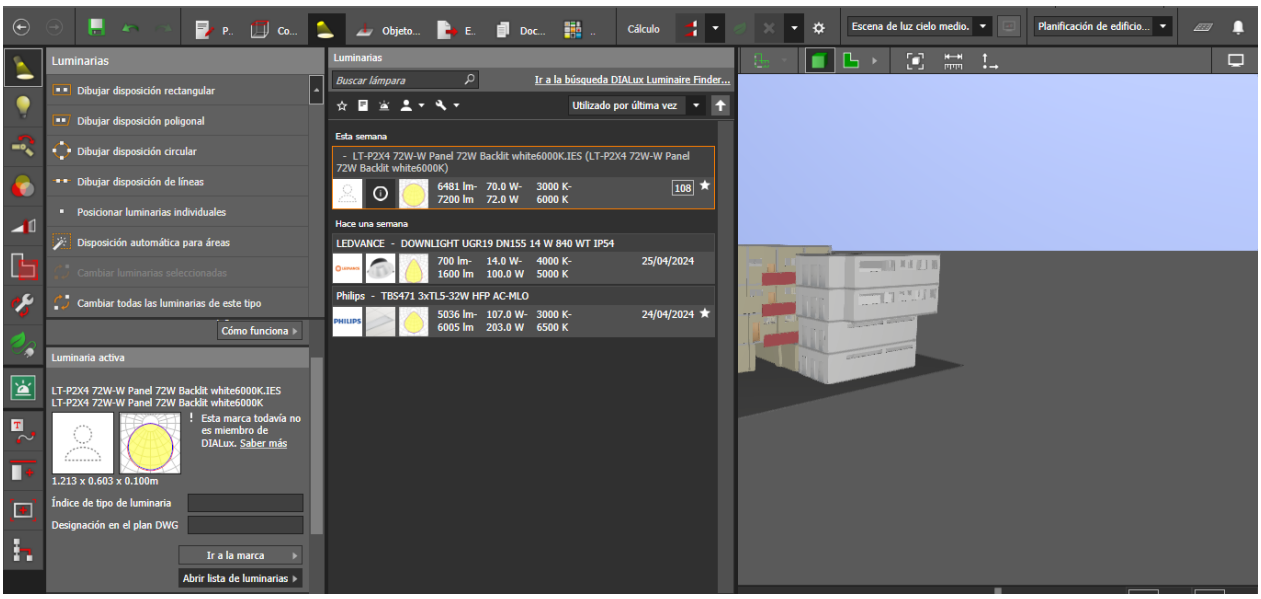


Ilustración 28. Sección de luminarias en DIALux.

En la Ilustración 28 se muestra las luminarias que se han importado por el usuario al programa y al seleccionarla puedo generar arreglos con esta, ya sean rectangulares, lineales, poligonales, circulares. Una vez las luminarias sean colocadas existe una variedad de parámetros a definir, como altura de las luminarias, tipo de montaje, cantidad de luminarias, disposición de las luminarias, rotación, entre otros. Luego en caso de que nuestra lámpara seleccionada posea la capacidad de dar diferente intensidad lumínica, índice de reproducción de color, temperatura de color es posible su modificación, como se puede observar en la Ilustración 29; las luminarias en el Edificio B tienen una configuración doble de color cálido y de luz blanca, en particular en el edificio fueron instaladas para dar luz blanca por lo que el consumo de Watts es de 72, el flujo luminoso de 7200 que nos deja con una lampara que tiene una eficiencia de 100 lm/W; un índice de reproducción de color de 80 y el parámetro de temperatura seteado a 6000 K.

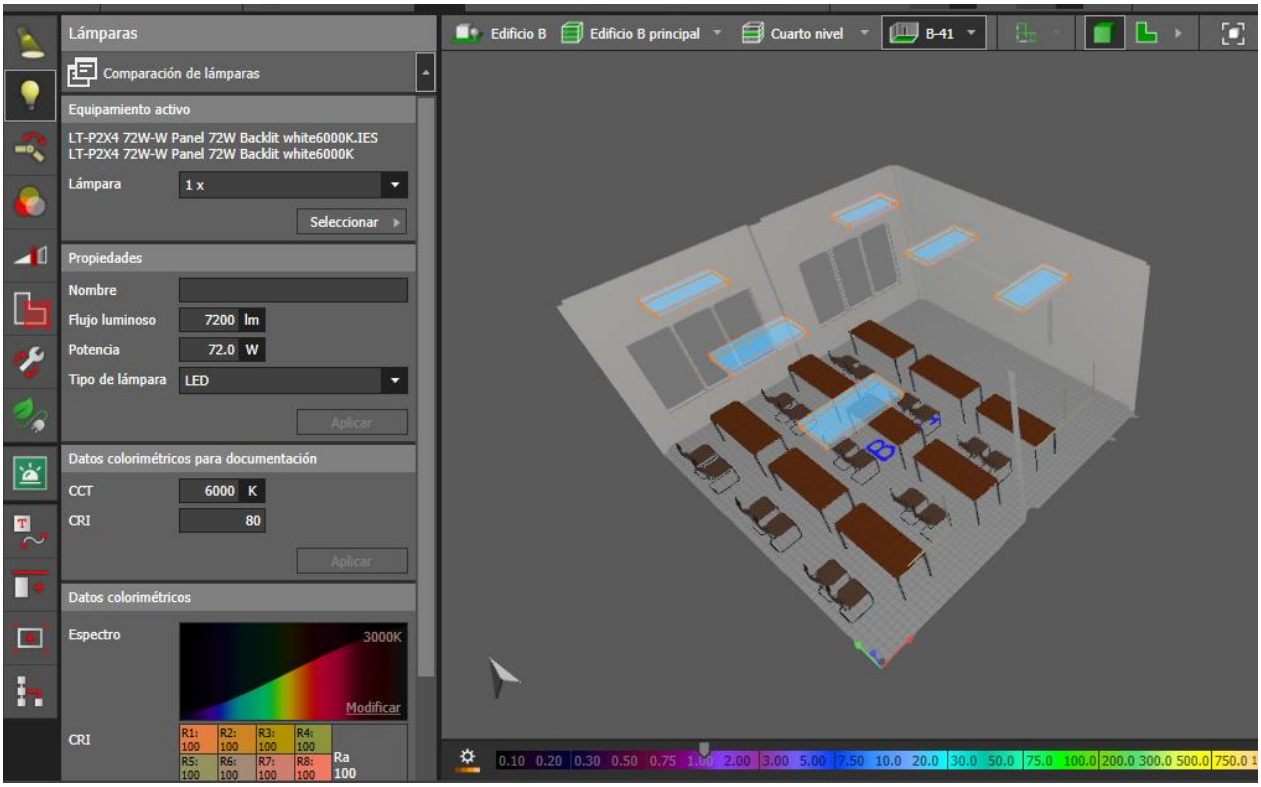


Ilustración 29. Apartado de definición de propiedades de las luminarias en DIALux.

4.3.2.1 Escenas de luz

Las escenas de luz son un apartado importante para la simulación, en cada escena de iluminación puedes utilizar diferentes configuraciones o sets de luminarias dependiendo de cómo sea usado el sistema de iluminación en cada momento del día. La primera escena de luz está programada de manera automática en donde todas las luminarias están tomadas en cuenta, con un flujo luminoso del 100% y la escena contiene un modelo de cielo despejado y sin luz diurna además es posible la configuración del día y lugar en que se está haciendo la simulación. En la Ilustración 31 se llevó a cabo esta simulación con una vista exterior de las instalaciones del Edificio B, en este caso podemos ver las propiedades ocupadas para la escena de luz y como la luz de las luminarias internas se ven reflejadas por las ventanas, en la parte exterior se pueden ver colores azules y negros debido a que se tiene una representación de colores falsos donde los tonos azules representan valores pequeños de luxes (variando entre 1 lx a 20lx) y tonos amarillos y rojos iluminación bastante alta (variando entre 750 lx a 3000lx). Dentro de las habitaciones podemos ver que existen todos verdes y amarillos representando que dentro se encuentra una buena iluminación que estudiaremos mejor más adelante.

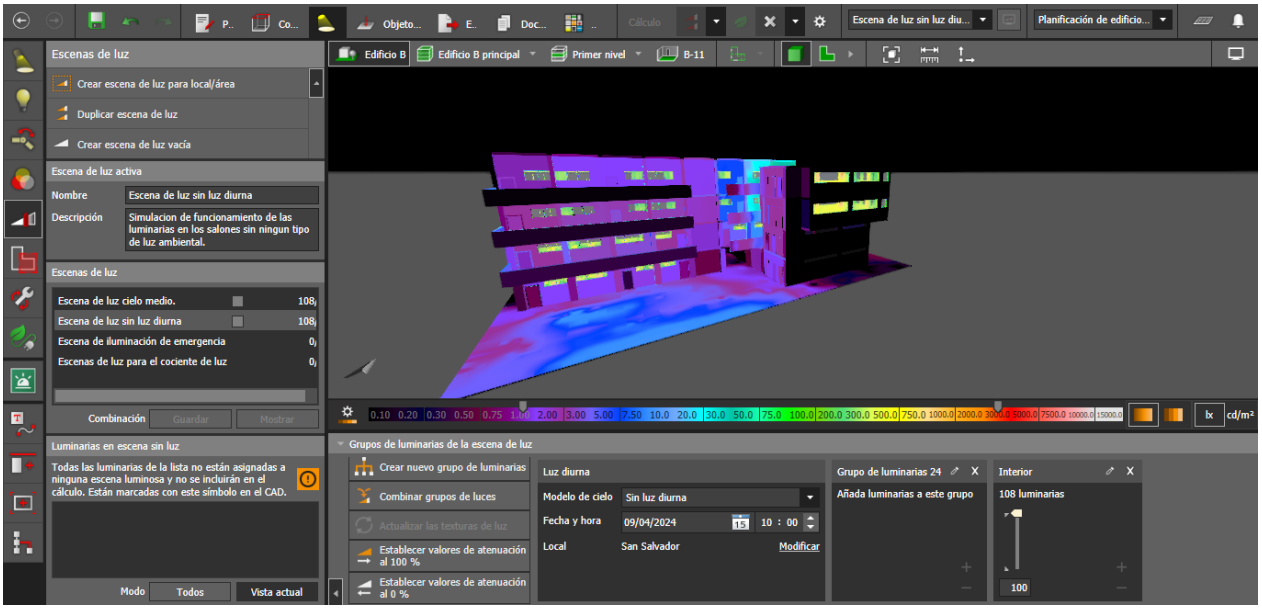


Ilustración 31.Escena de luz sin luz diurna, sin atenuación y tomando todas las luminarias.

Para el levantamiento de los valores reales se hizo un día en la mañana con un cielo poco nublado, aunque no tan soleado, por lo que para la simulación se programó una escena de luz con el cielo medio, con fecha y hora el martes nueve de abril de 2024 a las 10 de la mañana. Se presentarán ambos resultados para poder observar si las luminarias cumplen los estándares establecidos por la normativa nacional e internacional en diferentes condiciones atmosféricas y en diferentes épocas del año.

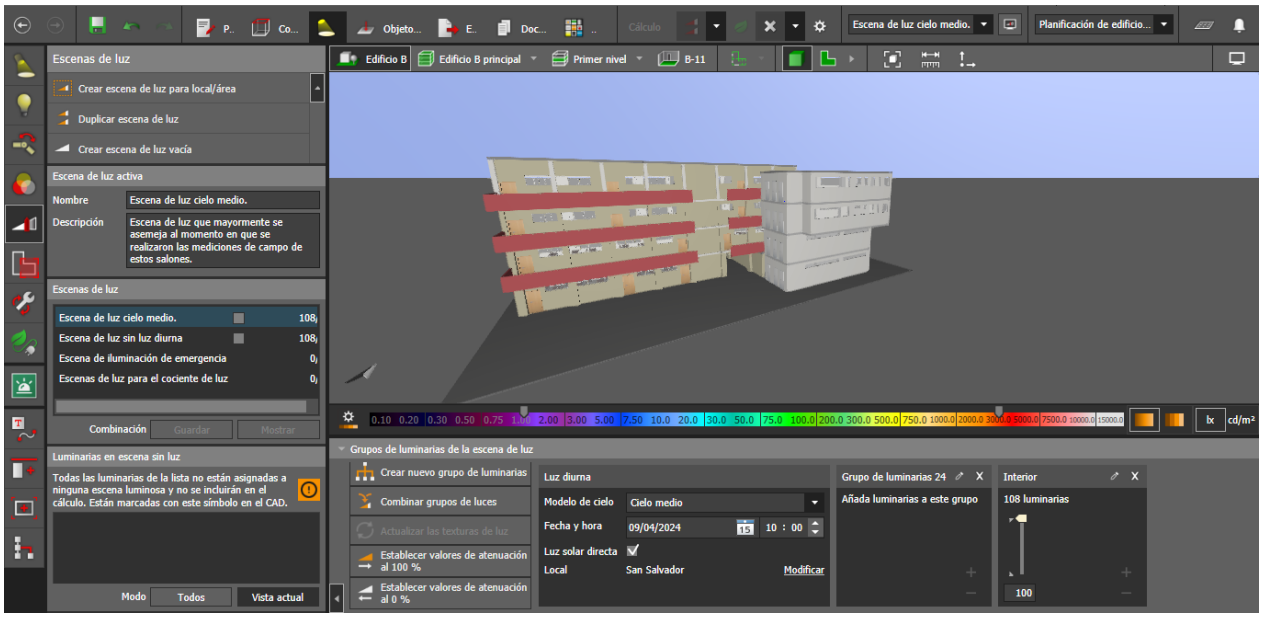


Ilustración 30.Escena de luz con luz diurna, cielo medio, sin atenuación y tomando todas las luminarias.

En la Ilustración 30 ya podemos ver como el programa de DIALux nos ofrece un cielo despejado y el uso de falsos colores no es necesario. Esta escena de luz es muy importante debido a que la luz ambiental afecta grandemente los resultados de iluminación interior. Debido a las limitaciones que nos encontramos para el acceso de las áreas la toma de datos reales se limitó a ser de día por lo que los datos reales a comparar solo podrán ser con esta escena de luz aun así la comparación de cumplimiento de las normativas para la iluminación será para ambas situaciones.

Si se desea crear más escenas de luz el programa ofrece otros aspectos de cielo como seria, cielo soleado, cubierto o como nuestras selecciones medio o sin luz diurna. O la creación de diferentes grupos de luminarias y que estas posean cierta atenuación por diferentes motivos esto puede ser seteado como parte de los parámetros de estudio.

4.3.2.2 Parámetros de calculo

Para culminar la parte de construcción de simulaciones en DIALux falta los parámetros de cálculo que nos interesan, en el apartado de objeto de cálculo se presentan diferentes opciones como lo es la iluminancia horizontal, iluminancia perpendicular, iluminancia perpendicular adaptable, intensidad lumínica vertical, Unified Glare Rating UGR, Glare Rating GR, intensidad lumínica cilíndrica, intensidad lumínica semicilíndrica, intensidad lumínica hemisférica, intensidad lumínica en base a la cámara, cociente de luz diurna y dirección libre de cálculo. En nuestro caso solo nos interesa la iluminancia horizontal y el Unified Glare Rating por lo que se agregó estos cálculos a la simulación.

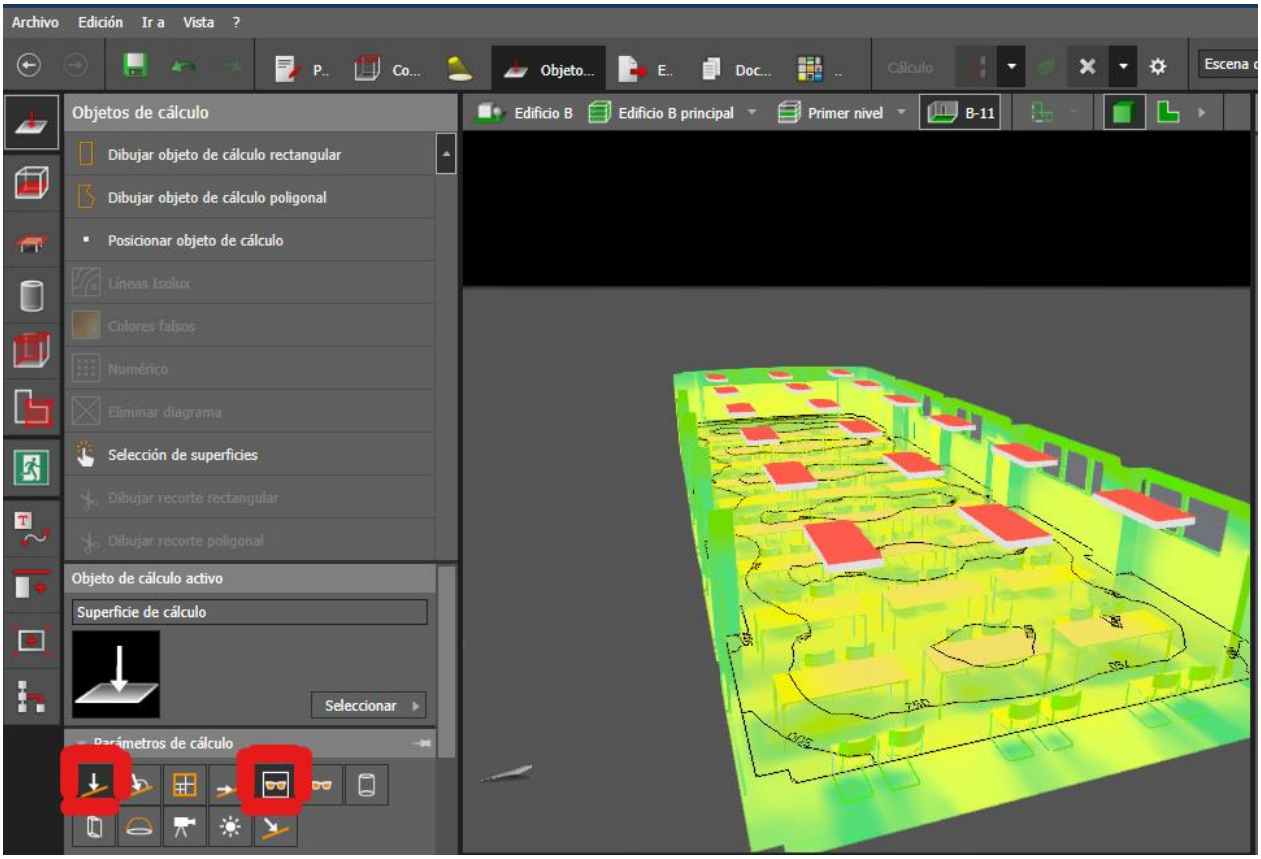


Ilustración 32. Apartado de parámetros de cálculo, seleccionado UGR e iluminancia horizontal (iluminancia perpendicular es automático en planos útiles)

La Ilustración 33 corresponde a la configuración de los parámetros a estudiar, para la intensidad lumínica horizontal se le da la altura que posee el plano útil (espacio en el que se espera realizar la actividad deseada) que como fue mencionado antes es de 0.8 m. En el caso del UGR se le da una compensación de altura de 1.2 m que es la altura usual en caso de estar sentado en el escritorio.

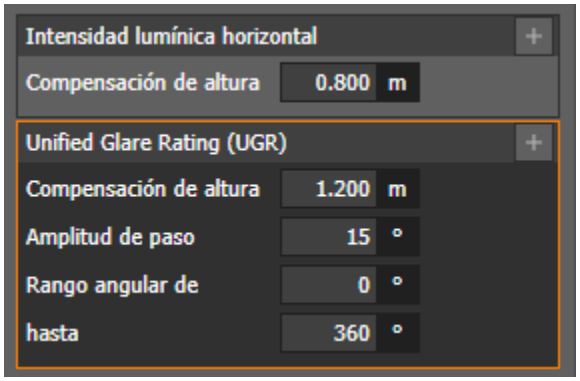


Ilustración 33. Configuración de los parámetros de estudio en DIALux.

4.3.3 Resultados obtenidos en simulación DIALux

A continuación, se muestran unos ejemplos de los datos obtenidos de las simulaciones realizadas, se mostrará con una escena de día y otra escena nocturna. En este caso se han elegido algunos locales representativos de clases de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, debido a la similitud de los salones se optó por Edificio B primera planta B-11, tercera planta B-32, cuarta planta B-41 y el auditorio Miguel Mármol.

4.3.3.1 Edificio B primera planta B-11

Este salón es uno de los primero que al iniciar cualquier carrera de la facultad todos los estudiantes tienen clases teóricas en él. Estos son los siguientes datos relevantes que se tomaron en cuenta en la simulación.

Datos relevantes:

B-11

P_{total}	A_{Local}	Potencia específica de conexión
1296.0 W	120.13 m²	10.79 W/m² = 0.70 W/m²/100 lx (Local) 12.42 W/m² = 0.80 W/m²/100 lx (Plano útil)

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
18		LT-P2X4 72W-W Panel 72W Backlit white6000K		72.0 W	7200 lm

Ilustración 34. Datos de potencia total instalada, área del local, potencia por el área de local y unidades de luminarias y su flujo luminoso en el salón B-11.

Teniendo esos datos en cuenta también vale la pena demostrar la distribución de luminarias que posee el local B-11. En la Ilustración 35 podemos ver el área total del local en negro, pero el uso del local nunca podrá ser total y debido a las columnas y ventanas es necesario presentar el área de estudio real, en este caso se optó por crear un objeto de estudio rectangular que se asemeje lo más posible al plano útil del local (delimitados en azul) siendo el contorno poligonal el plano útil que tiene una zona marginal de 30 cm del área real del local.

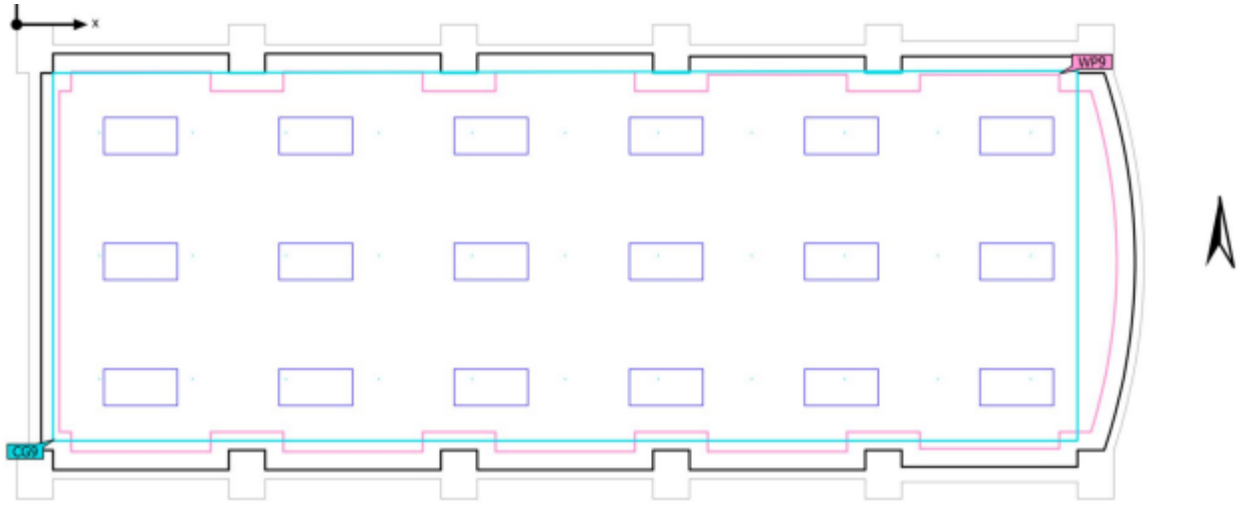


Ilustración 35. Distribución de luminarias B-11 y delimitación de plano útil y objeto de estudio en el local.

Otros datos importantes son las características constructivas, se tiene luminarias montadas en cielo falso blanco, existen ventanas al norte y sur de los salones sin apantallamientos, paredes pintadas de color blanco y piso con marmoleado de colores crema.

Base	120.13 m²	**Altura interior del local**	2.600 m
Grado de reflexión	Techo: 70.7 %, Paredes: 75.8 %, Suelo: 52.0 %	**Altura de montaje**	2.600 m
		Altura Plano útil	0.800 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	**Zona marginal** Plano útil	0.300 m

Ilustración 36. Resumen de datos relevantes para la simulación de salón B-11.

Escena de luz diurna (cielo medio)

Ilustración 37. Simulación de Local B-11 con el cielo medio.

Como se puede observar en la Ilustración 37 el local se encuentra en una situación de cielo despejado no soleado, y acorde a la imagen no se pueden notar sombras, se nota una buena iluminación, pero ahora podremos ver mediante el uso de isolíneas el estado real de manera descriptiva del local.

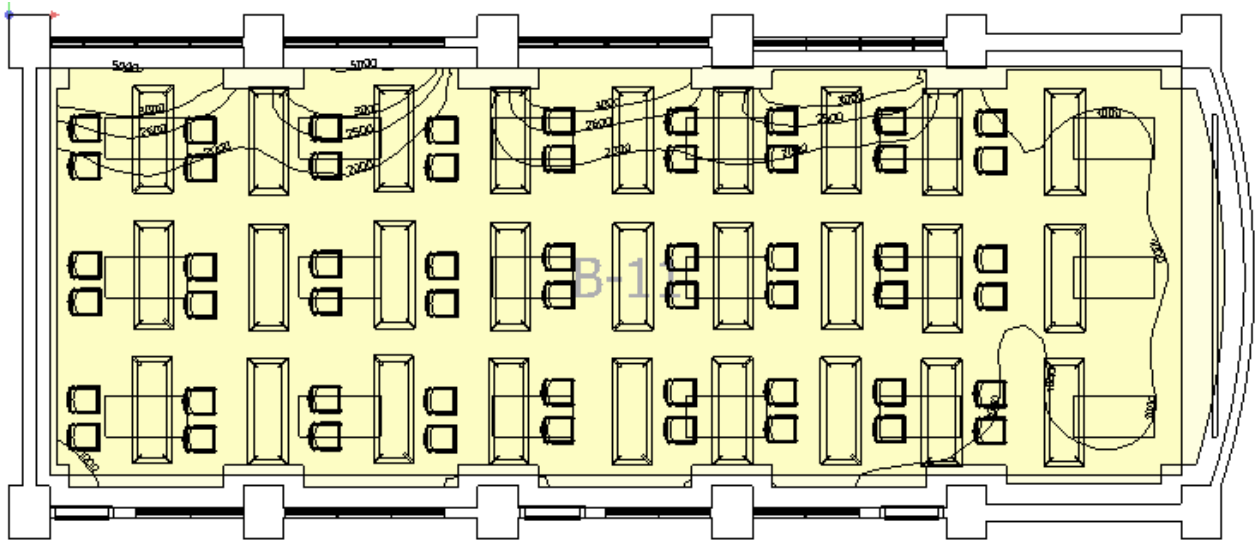


Ilustración 38. Isolíneas en el salón B-11

Utilizando una forma más grafica dando colores falsos, siendo entre más azulados una iluminación pobre de menos de 100 luxes, verdes de 100 a 300, amarillos de 500 a 1800 y dando una transición a anaranjados y rojos para llegar a un límite de 3000 luxes. Viendo eso podemos ver que en la Ilustración 39 los valores se ven altamente por encima de los 500 luxes siendo colores amarillo sólido y naranjas.

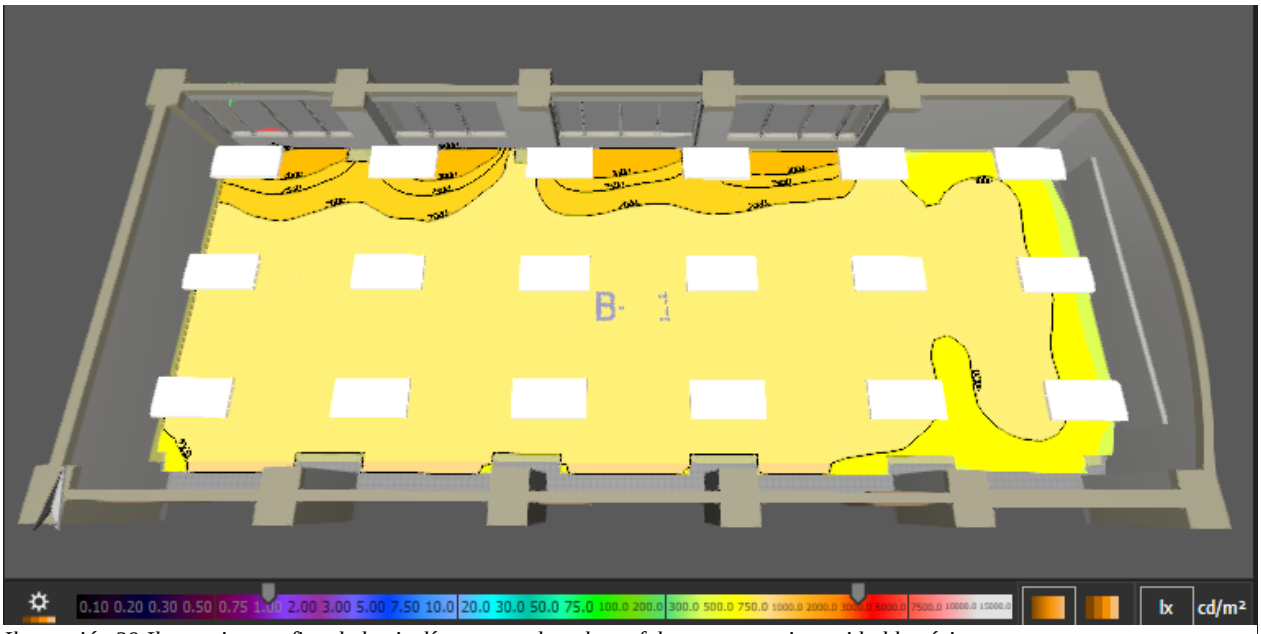


Ilustración 39.Ilustracion grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica.

En los resultados se obtuvo un valor mínimo de intensidad lumínica en el plano horizontal de 950 luxes, recordando que el valor mínimo de luxes en los salones es de 500 se puede hacer notar que cumple con la normativa. El valor máximo es de 2534 lx cerca de los ventanales en el lado norte del edificio que es de esperar por entrada de luz solar. Se tiene un valor medio en el local de 1580 luxes con un valor de uniformidad del 60%.

Superficie de cálculo

Propiedades	Ē	$E_{mín}$	$E_{máx}$	U_o (g_1)	g_2
B11 Intensidad lumínica horizontal Altura: 0.800 m	1580 lx	950 lx	2534 lx	0.60	0.37

Ilustración 40. Valores obtenidos en simulación de local B-11 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad

El valor de deslumbramiento debido a la potencia de las luminarias se puede asumir que es alto, y los resultados de la simulación confirman esta situación. Se encontró que el valor máximo de deslumbramiento es de 20.2 que es superior al recomendado para un salón de clase por 1.2 puntos.

B11 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	330°
máx	20.2
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG9

Ilustración 41. Valor obtenido de UGR y las propiedades del estudio.

Escena de luz nocturna

Ilustración 42. Simulación de Local B-11 con el cielo sin luz diurna.

Como se puede observar en la Ilustración 42 el local se encuentra en una situación de cielo sin luz diurna, y acorde a la imagen no se pueden notar sombras, se nota una buena iluminación dentro del local mas no fuera del mismo, pero ahora podremos ver mediante el uso de isolíneas el estado real de manera descriptiva del local.

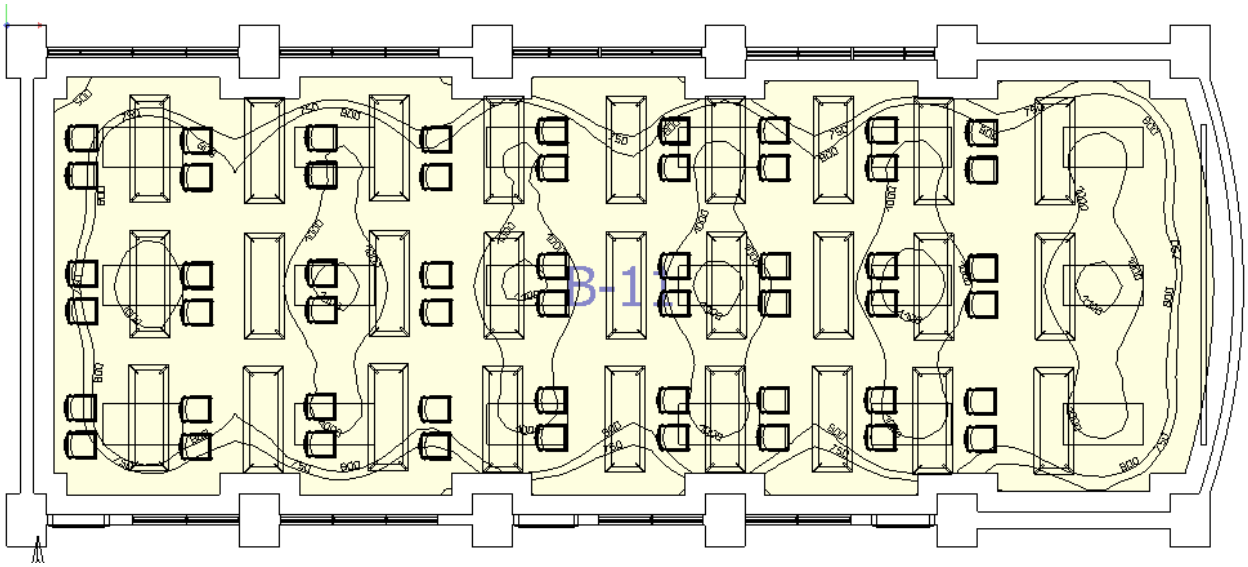


Ilustración 43. Isolíneas en el salón B-11

Utilizando una forma más grafica dando colores falsos, siendo entre más azulados una iluminación pobre de menos de 100 luxes, verdes de 100 a 400, amarillos de 500 a 1800 y dando una transición a anaranjados y rojos para llegar a un límite de 3000 luxes. Viendo eso podemos ver que en la Ilustración 44 los valores se ven con zonas por encima de los 500 luxes siendo colores amarillo sólido.

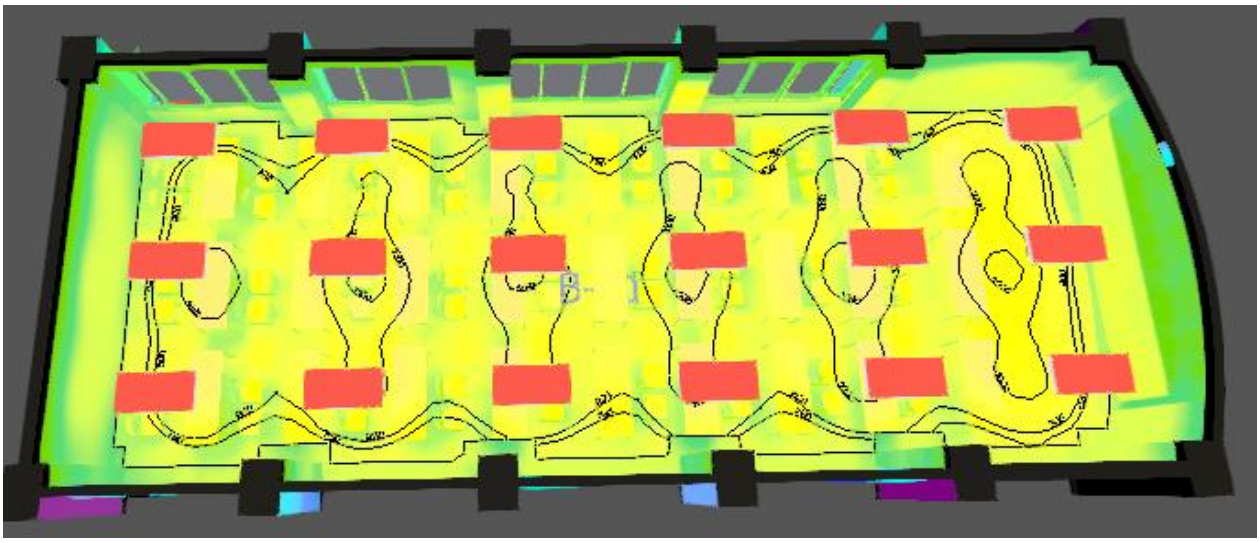


Ilustración 44.Ilustracion grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica.

En los resultados se obtuvo un valor mínimo de intensidad lumínica en el plano horizontal de 775 luxes, recordando que el valor mínimo de luxes en los salones es de 500 se puede hacer notar que cumple con la normativa. El valor máximo es de 1141 lx cerca de las luminarias que podemos ver pequeños círculos de alta intensidad de luz en la parte central del salón. Se tiene un valor medio en el local de 935 luxes con un valor de uniformidad del 68%. El valor de UGR es el mismo sin importar la escena de luz.

Superficie de cálculo

Propiedades	Ē	$E_{mín}$	$E_{máx}$	U_o (g_1)	g_2	Índice
B11 Intensidad lumínica horizontal Altura: 0.800 m	935 lx	775 lx	1141 lx	0.83	0.68	CG9

Ilustración 45Valores obtenidos en simulación de local B-11 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad

4.3.3.2 Edificio B tercera planta B-32

Este salón se encuentra en la tercera planta del edificio B, tiene una capacidad menor que el anteriormente visto pero siempre funciona como salón para clases teóricas y en ocasiones para discusiones. Estos son los siguientes datos relevantes que se tomaron en cuenta en la simulación.

Datos relevantes:

B-32

P_{total}	A_{Local}	Potencia específica de conexión
864.0 W	94.88 m²	9.11 W/m² = 1.24 W/m²/100 lx (Local) 10.49 W/m² = 1.43 W/m²/100 lx (Plano útil)

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
12		LT-P2X4 72W-W Panel 72W Backlit white6000K		72.0 W	7200 lm

Ilustración 46. Datos de potencia total instalada, área del local, potencia por el área de local y unidades de luminarias y su flujo luminoso en el salón B-32.

Teniendo esos datos en cuenta también vale la pena demostrar la distribución de luminarias que posee el local B-32. En la Ilustración 47 podemos ver el área total del local en negro, pero el uso del local nunca podrá ser total y debido a las columnas y ventanas es necesario presentar el área de estudio real, en este caso se optó por crear un objeto de estudio rectangular que se asemeje lo más posible al plano útil del local (delimitados en azul) siendo el contorno poligonal el plano útil que tiene una zona marginal de 30 cm del área real del local.

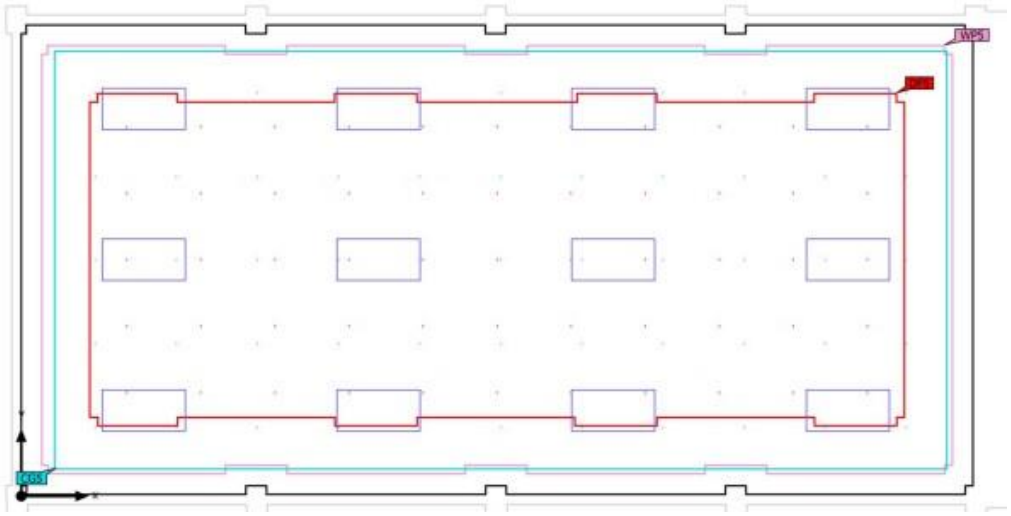


Ilustración 47. Distribución de luminarias B-32 y delimitación de plano útil y objeto de estudio en el local.

Otros datos importantes son las características constructivas, se tiene luminarias montadas en cielo falso blanco, existen ventanas al norte y sur de los salones sin apantallamientos, paredes pintadas de color blanco y piso con marmoleado de colores crema.

Base	94.88 m²	Altura interior del local	2.600 m
Grado de reflexión	Techo: 70.5 %, Paredes: 76.0 %, Suelo: 52.0 %	Altura de montaje	2.600 m
		Altura Plano útil	0.800 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	Zona marginal Plano útil	0.300 m

Ilustración 48. Resumen de datos relevantes para la simulación de salón B-32.

Escena de luz diurna (cielo medio)

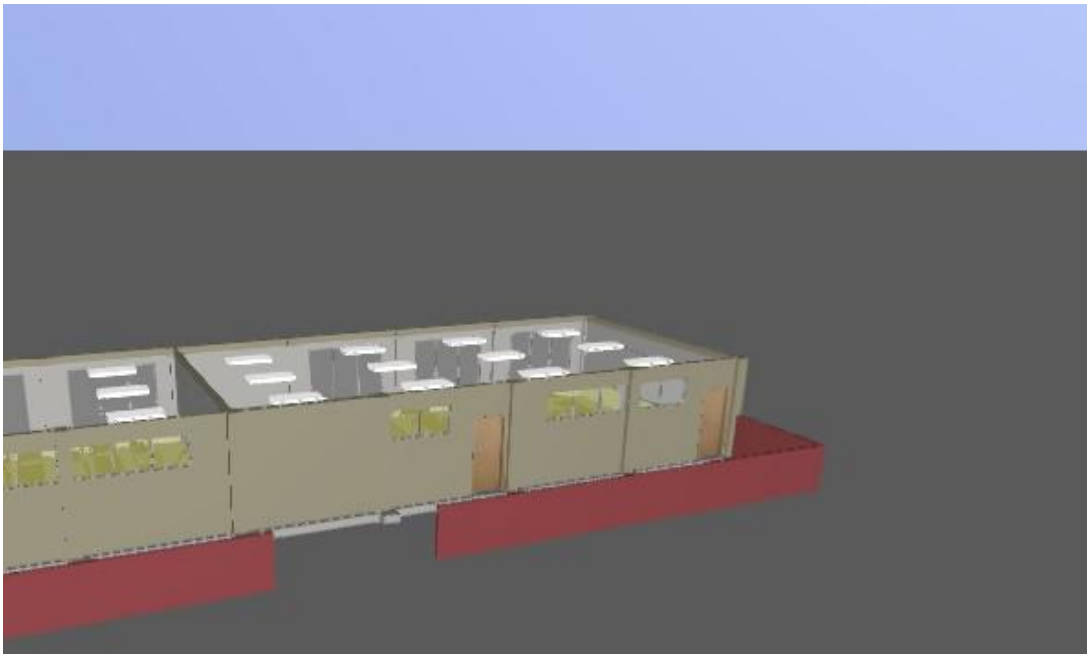


Ilustración 49. Simulación de Local B-32 con el cielo medio.

Como se puede observar en la Ilustración 50Ilustración 37 el local se encuentra en una situación de cielo despejado no soleado, y acorde a la imagen no se pueden notar sombras, se nota una buena iluminación, pero ahora podremos ver mediante el uso de isolíneas el estado real de manera descriptiva del local.

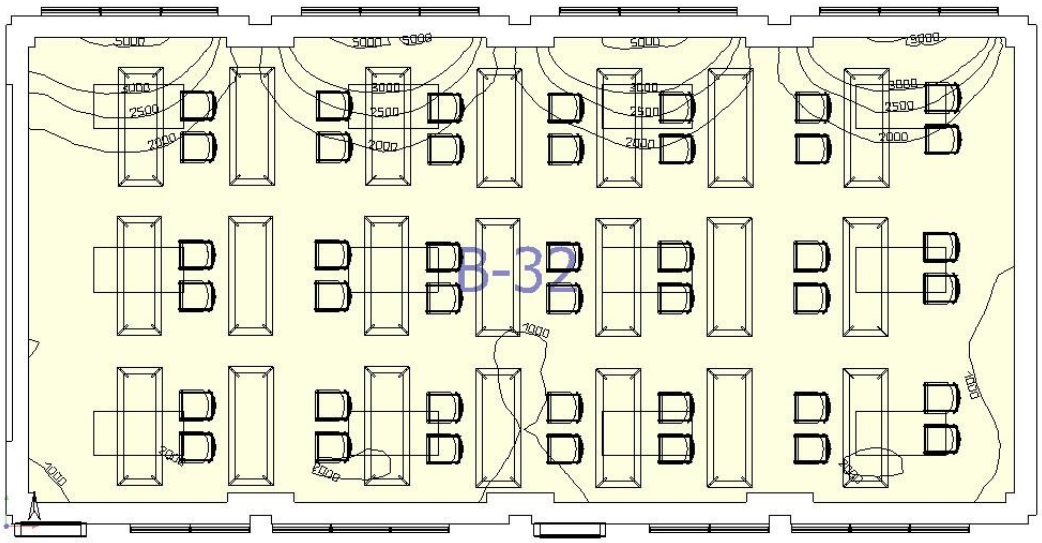


Ilustración 50. Isolíneas en el salón B-32

Utilizando una forma más grafica dando colores falsos, siendo entre más azulados una iluminación pobre de menos de 100 luxes, verdes de 100 a 300, amarillos de 500 a 1800 y dando una transición a anaranjados y rojos para llegar a un límite de 3000 luxes. Viendo eso podemos ver que en la Ilustración 51 los valores se ven altamente por encima de los 500 luxes siendo colores amarillo sólido y naranja en general, cerca de las ventanas observamos un naranja fuerte llegando hasta 4000lx.

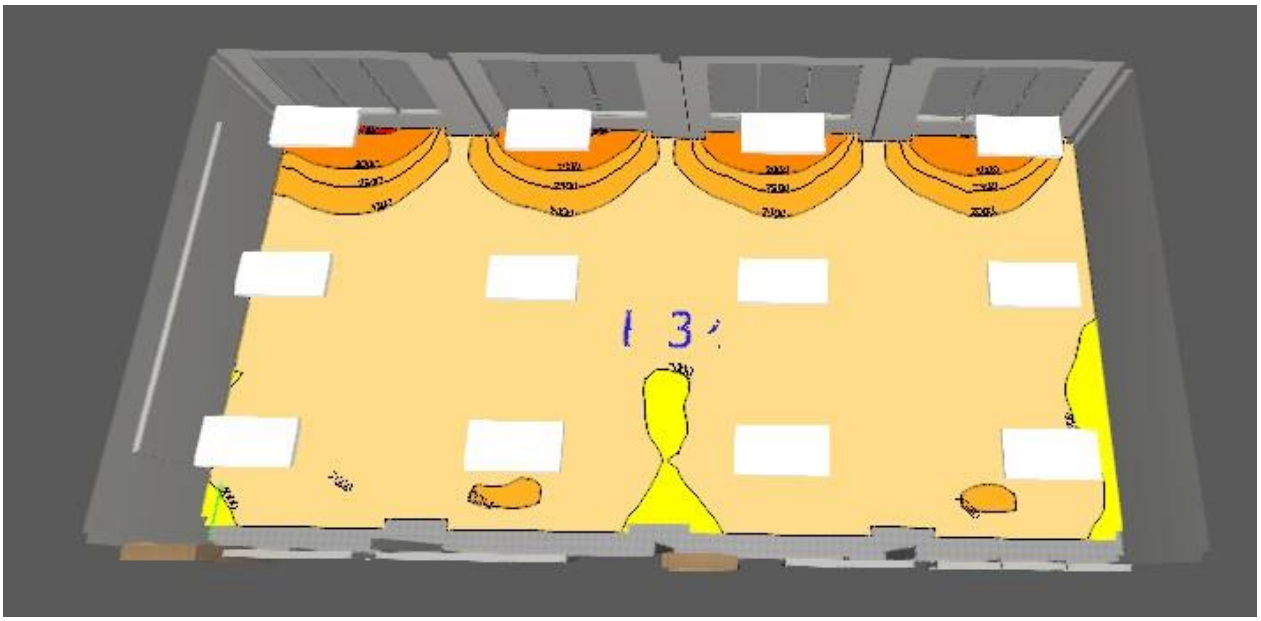


Ilustración 51.Ilustracion grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica.

En los resultados se obtuvo un valor mínimo de intensidad lumínica en el plano horizontal de 967 luxes, recordando que el valor mínimo de luxes en los salones es de 500 se puede hacer notar que cumple con la normativa. El valor máximo es de 3216 lx cerca de los ventanales en el lado norte del edificio que es de esperar por entrada de luz solar. Se tiene un valor medio en el local de 1580 luxes con un valor de uniformidad del 58%.

Superficie de cálculo

Propiedades	Ē	E_{min}	$E_{máx}$	U_o (g_1)	g_2	Índice
B32 Intensidad lumínica horizontal Altura: 0.800 m	1667 lx	967 lx	3126 lx	0.58	0.31	CG5

Ilustración 52. Valores obtenidos en simulación de local B-32 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad

El valor de deslumbramiento debido a la potencia de las luminarias se puede asumir que es alto, y los resultados de la simulación confirman esta situación. Se encontró que el valor máximo de deslumbramiento es de 20.4 que es superior al recomendado para un salón de clase por 1.4 puntos.

B32 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	15°
máx	20.4
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG5

Ilustración 53. Valor obtenido de UGR y las propiedades del estudio.

Escena de luz nocturna

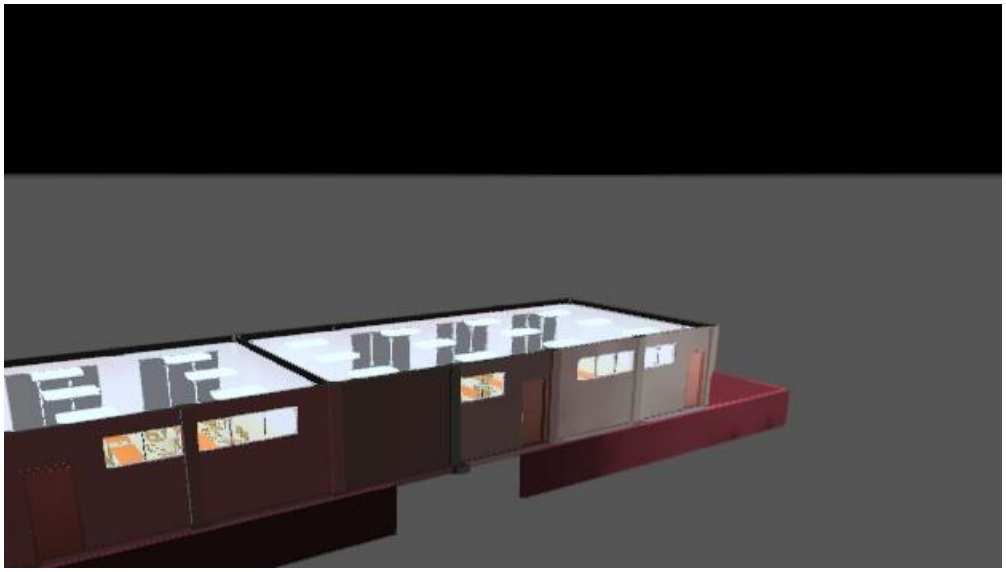


Ilustración 54. Simulación de Local B-32 con el cielo sin luz diurna.

Como se puede observar en la Ilustración 54 el local se encuentra en una situación de cielo sin luz diurna se nota una buena iluminación dentro del local mas no fuera del mismo, pero ahora podremos ver mediante el uso de isolíneas el estado real de manera descriptiva del local.

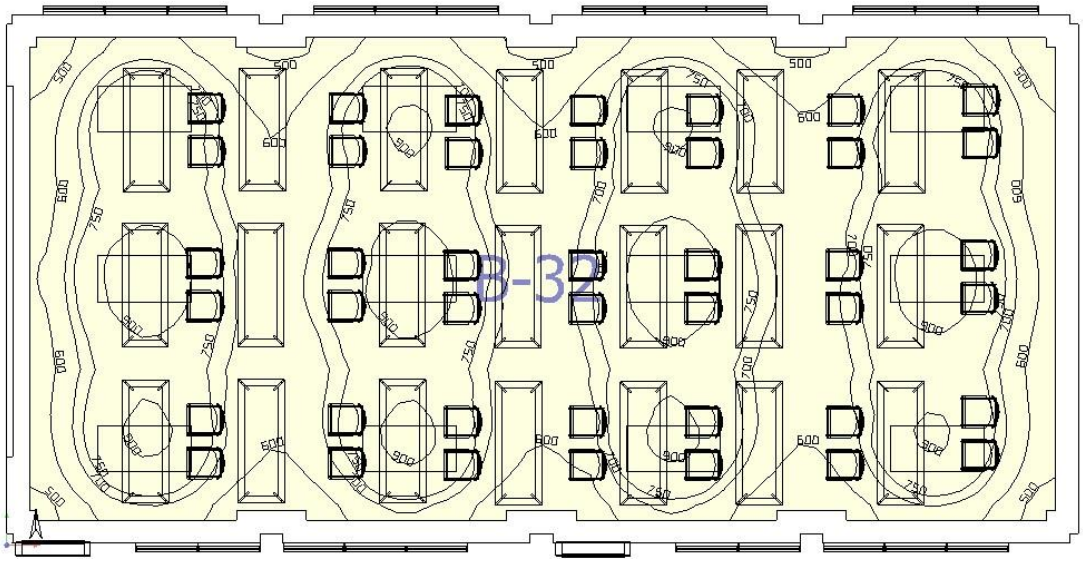


Ilustración 55. Isolíneas en el salón B-32

Utilizando una forma más grafica dando colores falsos, siendo entre más azulados una iluminación pobre de menos de 100 luxes, verdes de 100 a 400, amarillos de 500 a 1800 y dando una transición a anaranjados y rojos para llegar a un límite de 3000 luxes. Viendo eso podemos ver que en la Ilustración 56 los valores se ven con zonas por encima de los 500 luxes siendo colores amarillo sólido.

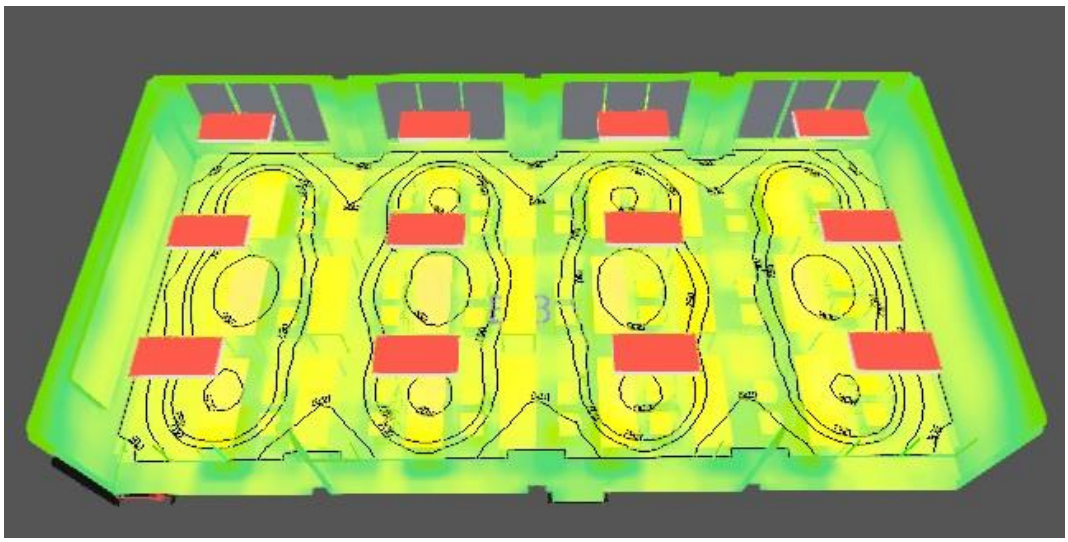


Ilustración 56.Ilustracion grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica.

En los resultados se obtuvo un valor mínimo de intensidad lumínica en el plano horizontal de 561 luxes, recordando que el valor mínimo de luxes en los salones es de 500 se puede hacer notar que cumple con la normativa. El valor máximo es de 954 lx cerca de las luminarias que podemos ver pequeños círculos de alta intensidad de luz en la parte central del salón. Se tiene un valor medio en el local de 744 luxes con un valor de uniformidad del 75%. El valor de UGR es el mismo sin importar la escena de luz.

Superficie de cálculo

Propiedades	Ē	$E_{mín}$	$E_{máx}$	U_o (g_1)	g_2	Índice
B32 Intensidad lumínica horizontal Altura: 0.800 m	744 lx	561 lx	954 lx	0.75	0.59	CG5

Ilustración 57. Valores obtenidos en simulación de local B-32 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad

4.3.3.3 Edificio B cuarta planta B-41

Este salón tiene la función de salón de discusiones para los primeros años de cualquier carrera de ingeniería o arquitectura, son los más pequeños en la última planta del edificio. Estos son los siguientes datos relevantes que se tomaron en cuenta en la simulación.

Datos relevantes:

B-41

P_{total}	A_{Local}	Potencia específica de conexión
432.0 W	47.08 m²	9.18 W/m² = 0.58 W/m²/100 lx (Local) 11.06 W/m² = 0.70 W/m²/100 lx (Plano útil)

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
6		LT-P2X4 72W-W Panel 72W Backlit white6000K		72.0 W	7200 lm

Ilustración 58. Datos de potencia total instalada, área del local, potencia por el área de local y unidades de luminarias y su flujo luminoso en el salón B-41.

Teniendo esos datos en cuenta también vale la pena demostrar la distribución de luminarias que posee el local B-41. En la Ilustración 59 podemos ver el área total del local en negro, pero el uso del local nunca podrá ser total y debido a las columnas y ventanas es necesario presentar el área de

estudio real, en este caso se optó por crear un objeto de estudio rectangular que se asemeje lo más posible al plano útil del local (delimitados en azul) siendo el contorno poligonal el plano útil que tiene una zona marginal de 30 cm del área real del local.

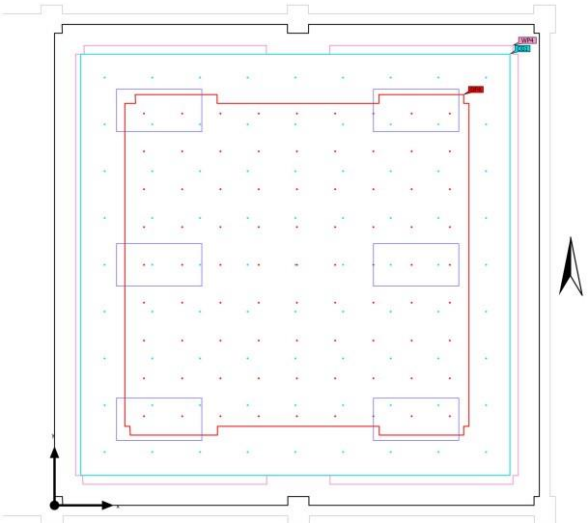


Ilustración 59. Distribución de luminarias B-41 y delimitación de plano útil y objeto de estudio en el local.

Otros datos importantes son las características constructivas, se tiene luminarias montadas en cielo falso blanco, existen ventanas al norte y sur de los salones sin apantallamientos, paredes pintadas de color blanco y piso con marmoleado de colores crema.

Base	47.08 m²	Altura interior del local	3.600 m
Grado de reflexión	Techo: 70.0 %, Paredes: 76.7 %, Suelo: 52.0 %	Altura de montaje	3.600 m
		Altura Plano útil	0.800 m
Factor de degradación	0.80 (Global)	Zona marginal Plano útil	0.300 m

Ilustración 60. Resumen de datos relevantes para la simulación de salón B-11.

Escena de luz diurna (cielo medio)

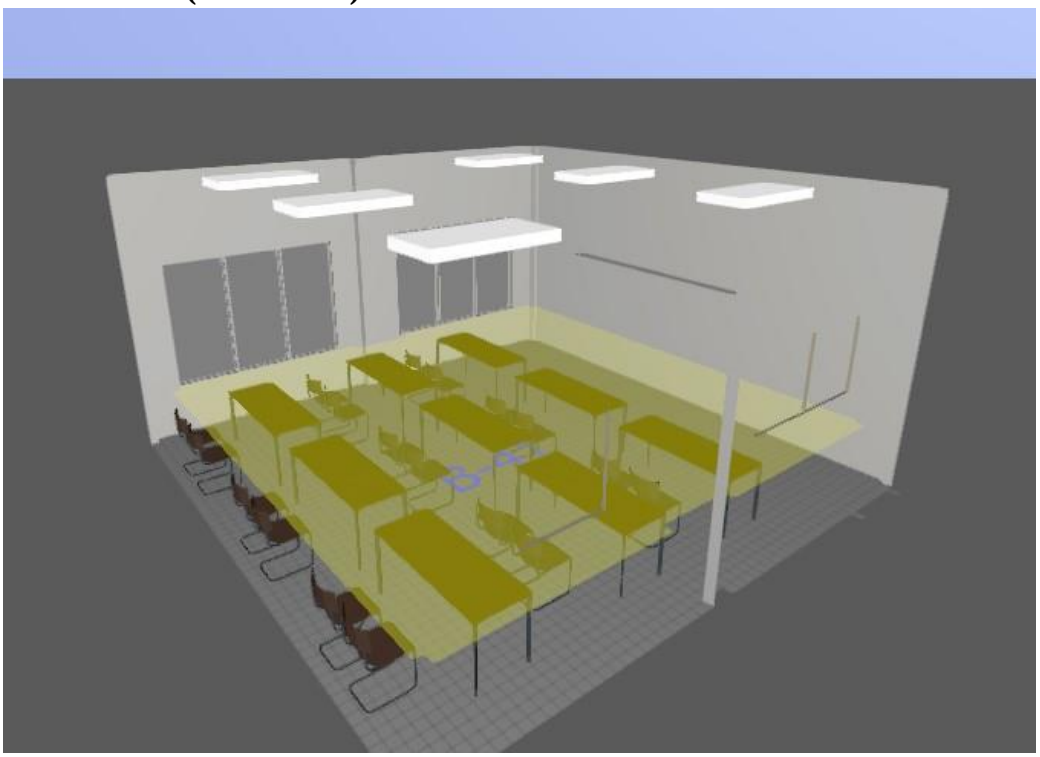


Ilustración 61. Simulación de Local B-41 con el cielo medio.

Como se puede observar en la Ilustración 61 el local se encuentra en una situación de cielo despejado no soleado, y acorde a la imagen no se pueden notar sombras, se nota una buena iluminación, pero ahora podremos ver mediante el uso de isolíneas el estado real de manera descriptiva del local.

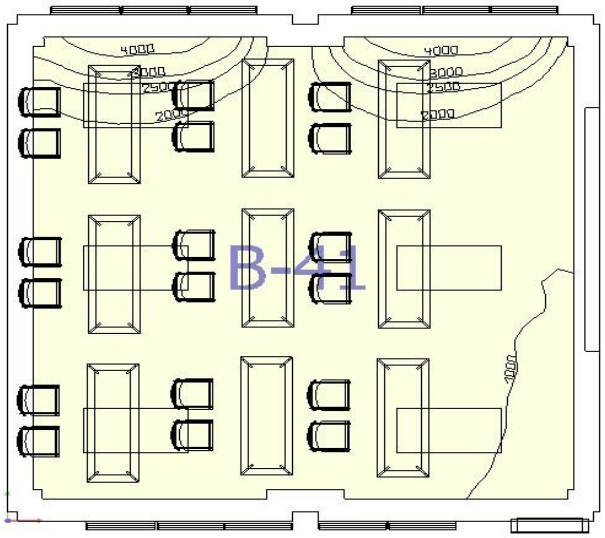


Ilustración 62. Isolíneas en el salón B-41

Utilizando una forma más grafica dando colores falsos, siendo entre más azulados una iluminación pobre de menos de 100 luxes, verdes de 100 a 300, amarillos de 500 a 1800 y dando una transición a anaranjados y rojos para llegar a un límite de 3000 luxes. Viendo eso podemos ver que en la Ilustración 63 los valores se ven altamente por encima de los 500 luxes siendo colores amarillo sólido y naranjas.

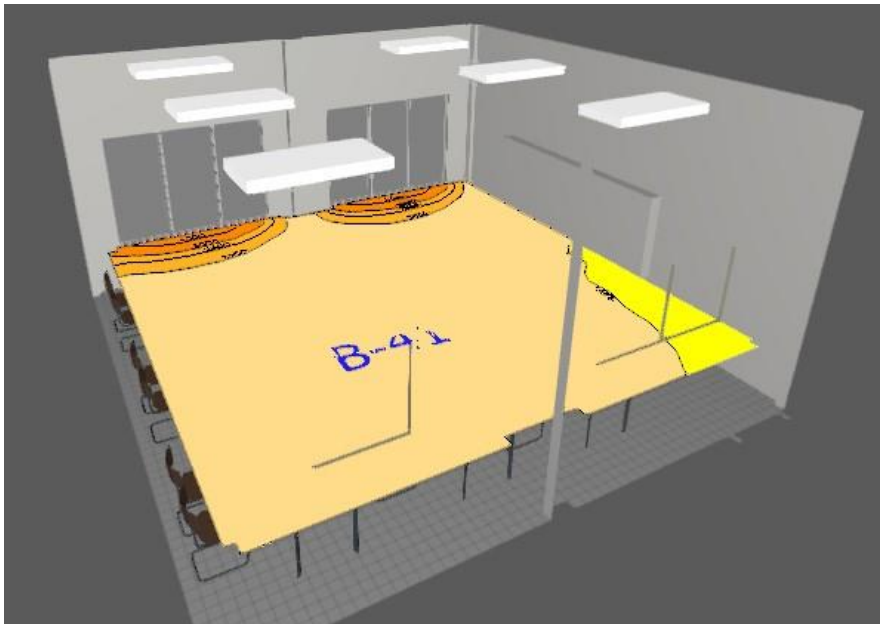


Ilustración 63.Ilustracion grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica.

En los resultados se obtuvo un valor mínimo de intensidad lumínica en el plano horizontal de 855 luxes, recordando que el valor mínimo de luxes en los salones es de 500 se puede hacer notar que cumple con la normativa. El valor máximo es de 3344 lx cerca de los ventanales en el lado norte del edificio que es de esperar por entrada de luz solar. Se tiene un valor medio en el local de 1555 luxes con un valor de uniformidad del 55%.

Superficie de cálculo

Propiedades	Ē	$E_{mín}$	$E_{máx}$	U_o (g_1)	g_2	Índice
B41 Intensidad lumínica horizontal Altura: 0.800 m	1555 lx	855 lx	3344 lx	0.55	0.26	CG1

Ilustración 64 Valores obtenidos en simulación de local B-41 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad

El valor de deslumbramiento debido a la potencia de las luminarias se puede asumir que es alto, y los resultados de la simulación confirman esta situación a pesar de esto al ser un local más pequeño y una menor cantidad de luminarias el deslumbramiento que este causan si se encuentra en el valor esperado. Se encontró que el valor máximo de deslumbramiento es de 16.5.

B41 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	315°
máx	16.5
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG1

Ilustración 65. Valor obtenido de UGR y las propiedades del estudio.

Escena de luz nocturna

Ilustración 66. Simulación de Local B-41 con el cielo sin luz diurna.

Como se puede observar en la Ilustración 66 el local se encuentra en una situación de cielo sin luz diurna, y acorde a la imagen no se pueden notar sombras, se nota una buena iluminación dentro del local mas no fuera del mismo, pero ahora podremos ver mediante el uso de isolíneas el estado real de manera descriptiva del local.

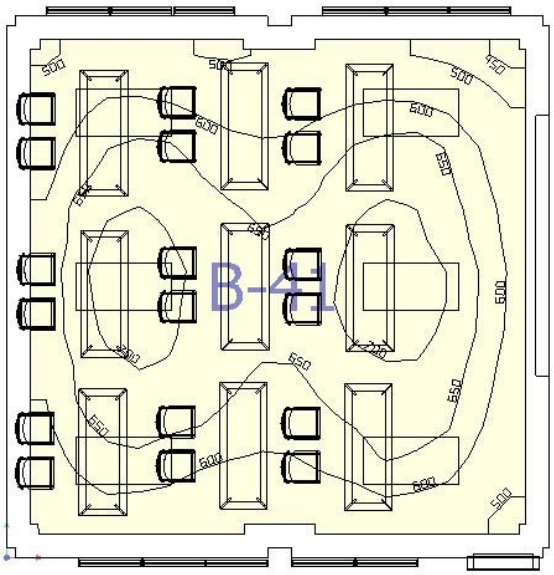


Ilustración 67. Isolíneas en el salón B-41

Utilizando una forma más grafica dando colores falsos, siendo entre más azulados una iluminación pobre de menos de 100 luxes, verdes de 100 a 400, amarillos de 500 a 1800 y dando una transición a anaranjados y rojos para llegar a un límite de 3000 luxes. Viendo eso podemos ver que en la Ilustración 68 los valores se ven con zonas por entre 500 y 600 luxes amarillos y siendo colores verdes solido en esquinas que da unos 490lx.

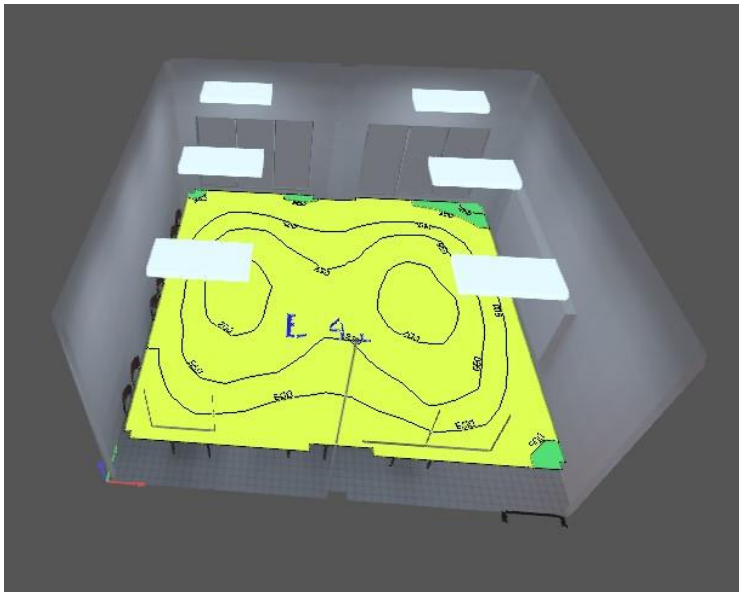


Ilustración 68.Ilustración grafica de las isolíneas usando colores falsos para ver intensidad lumínica.

En los resultados se obtuvo un valor mínimo de intensidad lumínica en el plano horizontal de 492 luxes, recordando que el valor mínimo de luxes en los salones es de 500 se puede hacer notar que

no cumple con la normativa debido a que es en las esquinas y es un valor muy cercano este valor es realmente negable y se puede considerar que este local pasa. El valor máximo es de 713 lx cerca de las luminarias que podemos ver pequeños círculos de alta intensidad de luz en la parte central del salón. Se tiene un valor medio en el local de 628 luxes con un valor de uniformidad del 78%. El valor de UGR es el mismo sin importar la escena de luz.

Superficie de cálculo

Propiedades	Ē	E_{min}	$E_{máx}$	U_o (g_1)	g_2	Índice
B41 Intensidad lumínica horizontal Altura: 0.800 m	628 lx	492 lx	713 lx	0.78	0.69	CG1

Ilustración 69. Valores obtenidos en simulación de local B-41 de iluminancia mínima, máxima, media y uniformidad

4.3.3.3 Auditorio Miguel Mármol

El auditorio Miguel Mármol es un lugar muy importante en la facultad donde se pueden desarrollar desde clases hasta eventos de asociaciones, organismos referentes de la carrera o graduaciones. Esto se ve aún más notorio en este año 2024 debido a que los edificios de salones comunes como lo son el B, C y D aún no están en condiciones óptimas para recibir a los estudiantes por lo que el uso del auditorio como salón de clase ha sido incrementado debido a su alta capacidad para acoger alumnos y su disponibilidad. Estos son los siguientes datos relevantes que se tomaron en cuenta en la simulación y algunos de los cambios que se verán en esta simulación debido a la peculiaridad de este edificio.

Datos relevantes:

P_{total}	A_{Local}	Potencia específica de conexión
6173.0 W	324.63 m²	19.02 W/m² (Local)

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
20	LEDVANCE	4058075459151	DOWNLIGHT UGR19 DN155 14 W 840 WT IP54	100.0 W	700 lm
39	Philips		TBS471 3xTL5-32W HFP AC-MLO	107.0 W	6005 lm

Ilustración 70. Datos de potencia total instalada, área del local, potencia por el área de local y unidades de luminarias y su flujo luminoso en auditorio mármol

Como se puede observar en la Ilustración 70 las luminarias que están instaladas en este edificio son totalmente diferentes a las anteriores, esto es debido a la falta de remodelación reciente del auditorio Mármol, por lo que aún se conservan luminarias de tipo tubo fluorescente lineal y algunas lámparas tipo ojo de buey con focos fluorescentes compactos. En la lista de artículos aparece que se trata de una carcasa con 3 tubos fluorescentes de 32W la carcasa posee difusores y son de 2*4 pies, debido a la dificultad de encontrar los archivos de las luminarias necesarias para DIALux se sustituyó por una luminaria marca Phillips con el mismo flujo luminoso y consumo energético pero con una carcasa más larga siendo esta de 5 pies y más angosta, en el caso de los ojos de buey no se pudo procurar un archivo de luminaria fluorescente compacta de este tipo por lo que se decidió por usar un ojo de buey tipo LED al que se le hizo el cambio respectivo de consumo energético y cantidad de lúmenes que emite. Las dificultades para procurar estos archivos son debido a lo desfasada que están estas tecnologías, en la actualidad a pesar de que si se tienen existencias de este tipo de luminaria los catálogos de los productores de luminarias están siendo solamente de luminarias con tecnología LED, esto refuerza lo planteado en el marco teórico el cambio de la mayoría de las luminarias a tecnología LED para el año 2030.

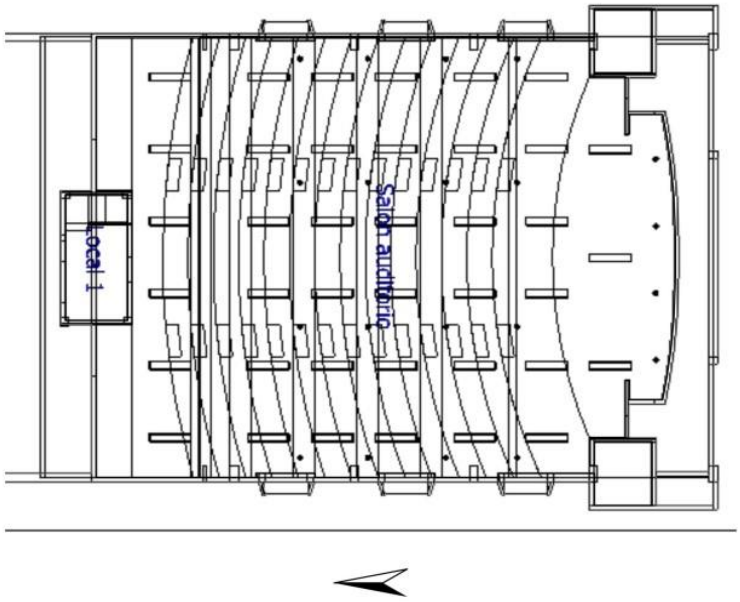


Ilustración 71. Distribución de luminarias Auditorio Miguel mármol y delimitación de objeto de estudios en el local.

Teniendo esos datos en cuenta también vale la pena demostrar la distribución de luminarias que posee el local del auditorio. En la Ilustración 71 podemos ver el área total del local, en este caso hay una gran diferencia con los anteriormente mostrados, debido a la geometría especial que tiene este edificio fue imposible realizar un plano útil único para su estudio por lo que el área útil del local fue dividida en 16 partes, el local se compone de la entrada un área plana con dos filas de asientos este fue el primer plano que fue creado a 0.8m. De ahí prosiguen 14 planos útiles que debido a la disminución del nivel del local existen gradas con filas de asientos, cada fila posee un plano útil de estudio, por último, existe uno en el lado del escenario o punto de exposición del local. Cabe recalcar que el uso de planos útiles diferentes de estudio no afecta a los resultados que se presentaran adelante, cada una de las luminarias que han sido colocadas afectan en el estudio lumínico realizado por lo que esta segmentación lo que nos permite es el mejor entendimiento del plano horizontal que es utilizado por los estudiantes a la hora de clases o eventos que son impartidos en este lugar el único inconveniente es que el procesamiento de datos para presentarlos tuvo que ser fuera del programa.

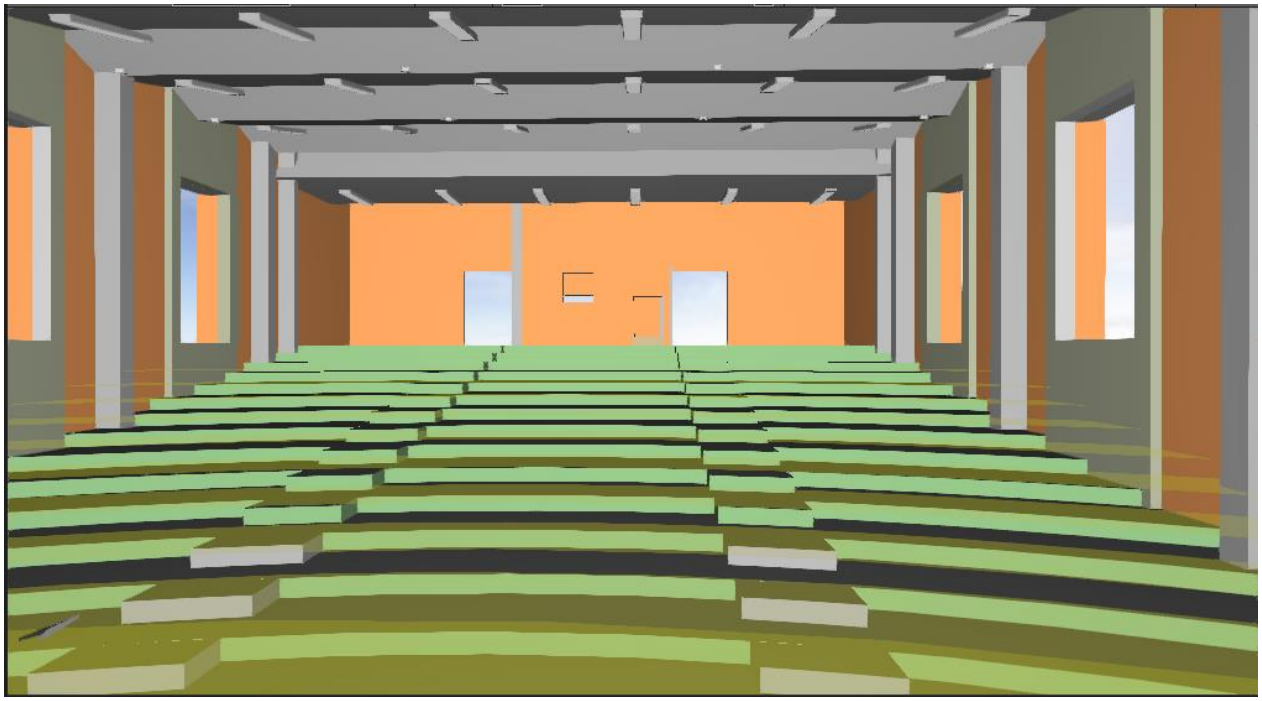


Ilustración 72. Demostración de modelo en DIALux de planos diferentes de trabajo en auditorio Miguel Mármol.

Otros datos importantes son las características constructivas, se tiene luminarias montadas en cielo falso blanco, existen ventanas al oeste y este de los salones con apantallamientos que bloquean la luz, puertas con polarizado y piso color blanco crema. Debido a los apantallamientos la luz natural

que entra al local es mínima y casi inexistente por lo que solo se realizara una escena de luz debido a que ambas simulaciones dieron resultados iguales. Al ser luminarias antiguas y debido a su bajo manteamiento en general, encontrando en campo incluso luminarias quemadas el factor de degradación fue puesto a 50%

Base	324.63 m²		
Grado de reflexión	Techo: 69.8 %, Paredes: 50.7 %, Suelo: 42.4 %	Altura interior del local	9.630 m
Factor de degradación	0.50 (Global)	Altura de montaje	6.800 m – 7.867 m

Ilustración 73. Resumen de datos relevantes para la simulación de salón Auditorio Miguel mármol.

Escena de luz diurna

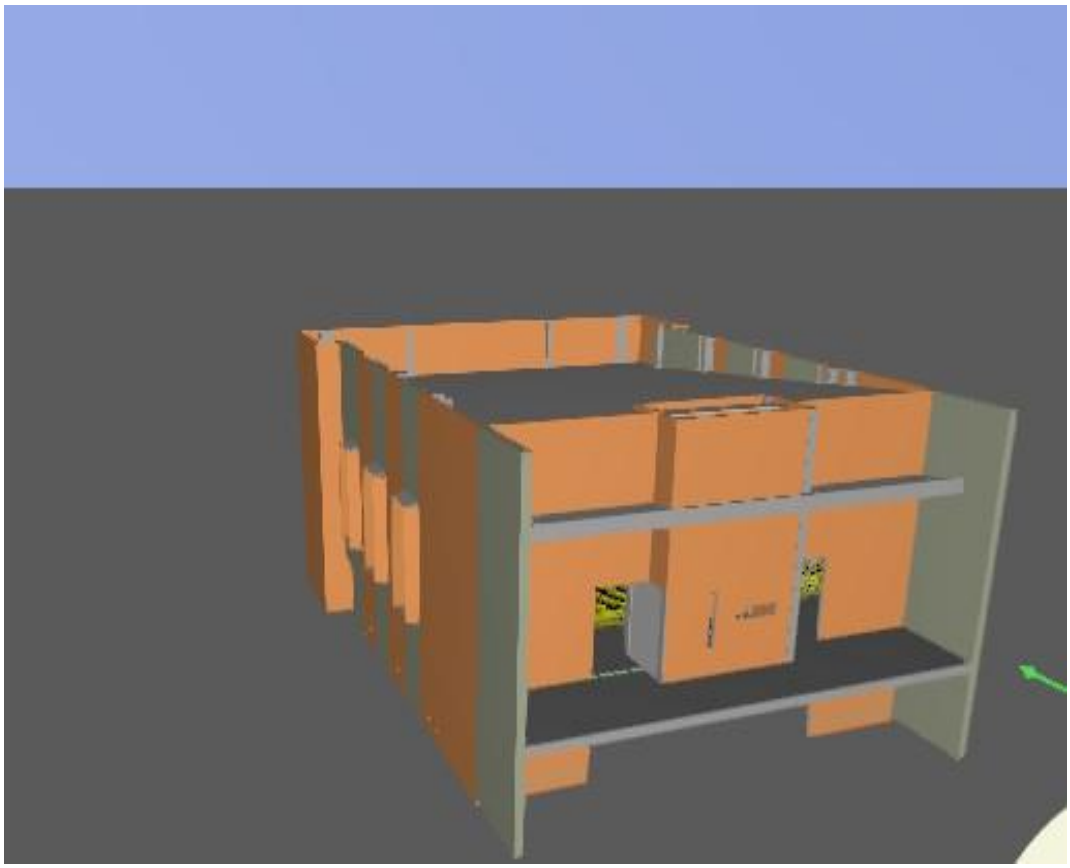


Ilustración 74. Simulación de Auditorio Miguel Mármol con el cielo medio.

Debido a los apantallamientos en el edificio se optó por el uso de una sola escena de luz ya que los cambios de día y de noche no son apreciables en los datos proporcionados por el software. Como se puede ver en la Ilustración 74 es el auditorio miguel mármol en un día con cielo medio, debido al desnivel existente en este edificio la estructura posee ángulos en los que este edificio podría ser un poco extraño, la simulación de los terrenos irregulares dentro del software es casi imposible por lo que solo se optó por el método de construcción un poco diferente pero mantiene las geometrías del edificio intactas y el análisis de iluminación lo más real posible. A continuación, se presenta en la Ilustración 75 las isolíneas que dan un entendimiento de los niveles de iluminación dentro del auditorio.

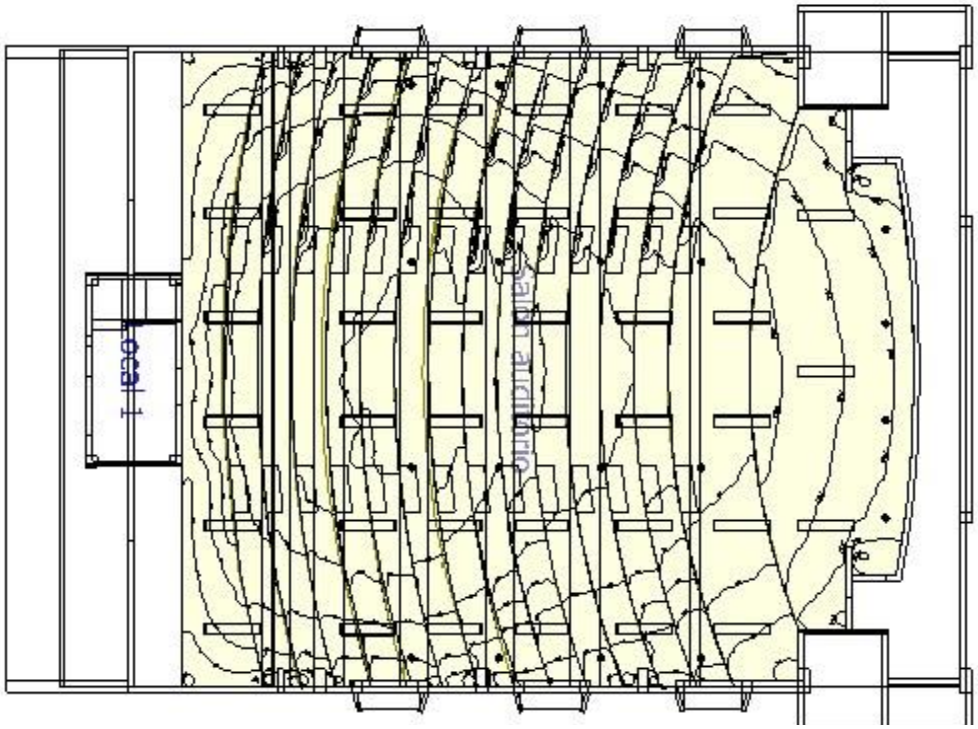


Ilustración 75. Isolíneas en el auditorio Miguel Mármol.

Como se puede ver a pesar de que los planos están en diferentes niveles de altura, las isolíneas mantienen el patrón similar en los niveles de iluminación, esto es indicativo de que la aproximación de diferentes planos de estudio fue correcta para la determinación de los niveles de iluminación promedio. En la siguiente imagen se mostrará con colores falsos el estado de iluminación.

En la Ilustración 76 se muestran los colores falsos del auditorio, en este caso se presentaron en 2D debido a la dificultad de mostrar los resultados completos en 3D. Debido a los bajos valores obtenidos se decidió cambiar la escala de colores, los colores inferiores que van desde el violeta a

los azules siguen siendo los más inferiores, desde los 75 a los 280 se pueden ver colores aqua, el siguiente bloque es de colores verdes que van desde los 300 luxes hasta los 750, en el caso de este caso de estudio los valores más altos rondan los 450 luxes, los amarillos que por el momento no se encuentran en la imagen corresponden desde los 1500 a 3000 luxes. En la imagen se puede notar la falta de homogeneidad de la iluminación con valores en las esquinas desde 150 luxes y el centro se obtienen valores de 450 luxes.

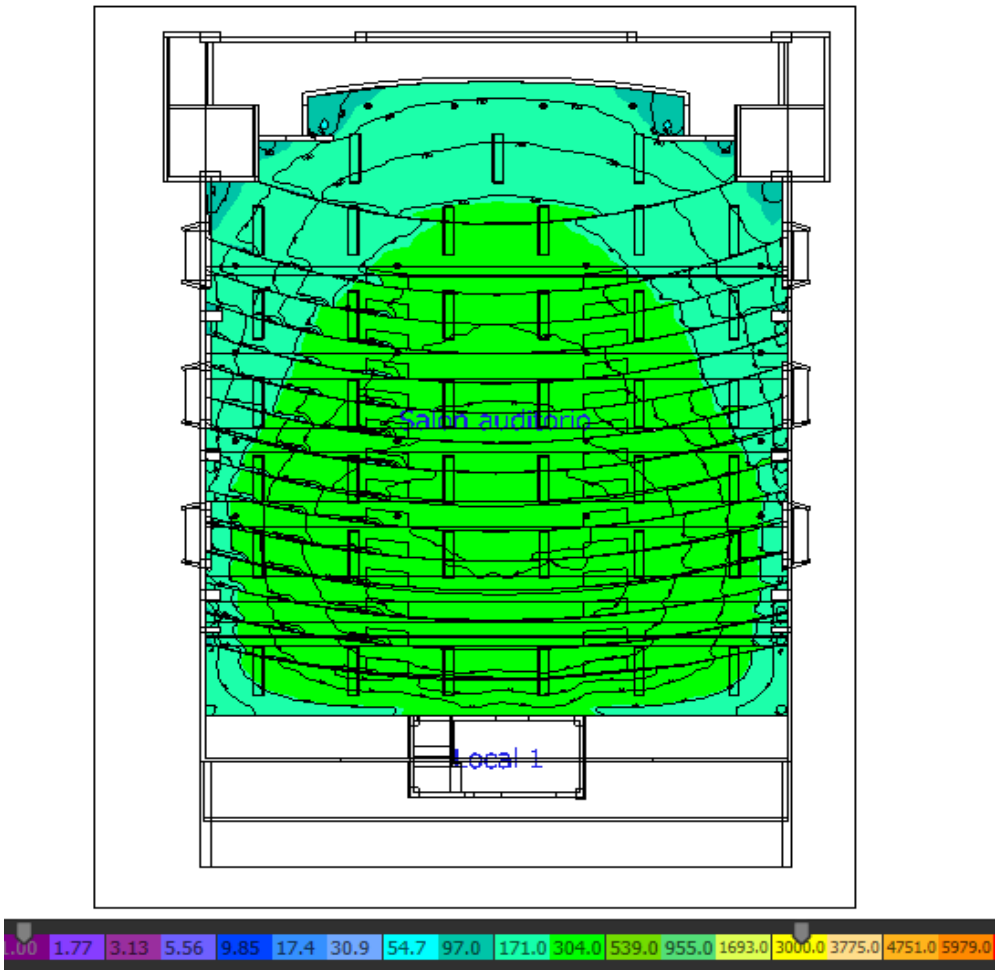


Ilustración 76. Colores falsos en 2D de auditorio Mármol.

Como fue comentado anteriormente los valores tuvieron que ser tabulados de manera manual entre las secciones, el valor mostrado como valor de iluminancia mínima es la iluminancia mínima que existe entre las secciones y la iluminancia máxima es el valor máximo entre las secciones, la iluminancia media es el promedio de todas las secciones, uniformidad es la iluminancia mínima entre secciones divido entre la iluminancia media entre las secciones por último el UGR es el máximo entre las secciones. por lo que el resultado final fue el siguiente:

Tabla 17. tabulación de resultados para auditorio miguel mármol.

Auditorio Miguel Mármol					
Salón	**Iluminancia mínima [lx]**	**Iluminancia máxima [lx]**	**Iluminancia media [lx]**	**Uniformidad**	**UGR**
sección 1	196	391	318	0.62	21.9
sección 2	167	423	371	0.45	22
sección 3	167	434	385	0.43	21.9
sección 4	243	441	392	0.62	21.3
sección 5	274	453	405	0.68	0.68
sección 6	268	455	405	0.66	19.8
sección 7	175	448	395	0.44	19.1
sección 8	231	440	384	0.6	18.5
sección 9	238	422	361	0.66	17
sección 10	231	395	341	0.68	15.9
sección 11	187	378	328	0.57	15.4
sección 12	164	368	318	0.52	15.3
sección 13	180	357	306	0.59	14.8
sección 14	187	345	294	0.64	14.3
sección 15	124	333	270	0.46	14
sección 16	93	315	234	0.4	14.6
	93.00	**455.00**	**344.19**	**0.27**	**22.00**

4.3.4 Tablas resumen de iluminación en edificios de clases B, C, D y auditorio Miguel Mármol en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UES

4.3.4.1 Edificio B

Tabla 18. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio B con escena de luz diurna.

Edificio B			Diurna		
Salón	**Iluminancia mínima [lx]**	**Iluminancia máxima [lx]**	**Iluminancia media [lx]**	**Uniformidad**	**UGR**
Anexo 41	685	3402	2111	0.32	17
Anexo 31	640	35347	3884	0.16	16.9
B11	950	2534	1580	0.6	20.2
B21	682	2770	1271	0.54	20.8
B22	1025	3057	1645	0.62	20.6
B31	848	2985	1366	0.62	20.5
B32	967	3126	1667	0.58	20.4
B41	855	3344	1555	0.55	16.5
B42	662	3188	1117	0.59	16
B43	909	3514	1617	0.56	16.3
B44	988	3447	1598	0.62	16.5

Tabla 19. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio B con escena de luz nocturna.

Edificio B			Sin luz diurna		
Salón	**Iluminancia mínima [lx]**	**Iluminancia máxima [lx]**	**Iluminancia media [lx]**	**Uniformidad**	**UGR**
Anexo 41	243	1244	796	0.31	17
Anexo 31	235	1314	807	0.29	16.9
B11	775	1141	935	0.83	20.2
B21	573	1005	755	0.76	20.8
B22	569	997	766	0.74	20.6
B31	566	949	763	0.74	20.5
B32	561	954	744	0.75	20.4
B41	492	713	628	0.78	16.5
B42	494	737	649	0.76	16
B43	470	728	624	0.75	16.3
B44	453	719	621	0.73	16.5

4.3.4.2 Edificio C

Tabla 20. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio C con escena de luz diurna

Edificio C			Diurna		
Salón	**Iluminancia mínima [lx]**	**Iluminancia máxima [lx]**	**Iluminancia media [lx]**	**Uniformidad**	**UGR**
C11	932	2535	1580	0.59	20.3
C21	710	2713	1330	0.53	20.8
C22	1044	3062	1656	0.63	20.7
C31	777	2941	1366	0.57	21.1
C32	970	2962	1617	0.6	20.4
C41	838	3794	1689	0.5	16.4
C42	695	3457	1150	0.6	16.1
C43	963	4016	1719	0.56	16.4
C44	1052	3652	1678	0.63	16.5

Tabla 21. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio C con escena de luz nocturna.

Edificio C			Sin luz diurna		
Salón	**Iluminancia mínima [lx]**	**Iluminancia máxima [lx]**	**Iluminancia media [lx]**	**Uniformidad**	**UGR**
C11	763	1129	928	0.82	20.3
C21	566	1008	754	0.75	20.8
C22	565	995	765	0.74	20.7
C31	540	945	727	0.74	21.1
C32	567	965	742	0.76	20.4
C41	461	711	619	0.74	16.4
C42	481	739	643	0.75	16.1
C43	452	716	619	0.73	16.4
C44	460	716	622	0.74	16.5

4.3.4.3 Edificio D

Tabla 22. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio D con escena de luz diurna

Edificio D			Diurna		
Salón	**Iluminancia mínima [lx]**	**Iluminancia máxima [lx]**	**Iluminancia media [lx]**	**Uniformidad**	**UGR**
D11	931	2501	1569	0.59	20.3
D21	710	2657	1321	0.54	20.8
D22	1039	2996	1643	0.63	20.7
D31	777	2876	1356	0.57	21.1
D32	956	2898	1605	0.6	20.4
D41	839	3700	1682	0.5	16.4
D42	694	3368	1146	0.61	16.1
D43	966	3915	1712	0.56	16.4
D44	1056	3564	1671	0.63	16.5

Tabla 23.Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Edificio D con escena de luz nocturna.

Edificio D			Sin luz diurna		
Salón	**Iluminancia mínima [lx]**	**Iluminancia máxima [lx]**	**Iluminancia media [lx]**	**Uniformidad**	**UGR**
D11	763	1129	928	0.82	20.3
D21	566	1008	754	0.75	20.8
D22	565	995	765	0.74	20.7
D31	540	945	727	0.74	21.1
D32	567	965	742	0.76	20.4
D41	461	711	619	0.74	16.4
D42	481	739	643	0.75	16.1
D43	452	716	619	0.73	16.4
D44	460	716	622	0.74	16.5

4.3.4.4 Auditorio Miguel Mármol

Tabla 24. Resumen de iluminancia mínima, máxima y media, uniformidad y UGR del Auditorio Miguel Mármol.

Auditorio Miguel Mármol					
Salón	**Iluminancia mínima [lx]**	**Iluminancia máxima [lx]**	**Iluminancia media [lx]**	**Uniformidad**	**UGR**
	93.00	455.00	344.19	0.27	22.00

4.4 Comparación de parámetros lumínicos y de eficiencia energética calculados y simulados tomando en cuenta normativas

4.4.1 Comparación de datos lumínicos calculados y simulados tomando en cuenta normativas

En esta sección se hará una comparación de los datos lumínicos calculados con fórmulas y los datos de simulación obtenidos en DIALux Evo; además, se hará una comparación con los márgenes permitidos en las normativas, en este caso en específico en la UNE-EN 12464-1 y el Decreto 89 "Reglamento General de Riesgos en los Lugares de Trabajo". Este análisis será realizado en cada uno de los salones de interés (Edificio B, C, D y auditorio Mármol).

4.4.1.1 Edificio B

En el caso del edificio B se poseen todos los datos de todos los salones ya que a este tuvimos acceso completo de las instalaciones por lo que en este se puede hacer un análisis y comparación completo el cual consta de datos de calculados con fórmulas, datos obtenidos de simulación y comparación con las normativas. Cabe destacar que estos datos corresponden a un día soleado con pocas nubes.

Tabla 25. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario diurno del edificio B con los límites establecidos por las normativas.

Salón	Tipo de fuente lumínica	Valores en campo (C)		Valores en simulación (S)			Valores según normativas: UNE-EN 12464-1 y Decreto 89 "Reglamento General de Riesgos en los Lugares de Trabajo"							
							Iluminancia media (lx)			Uniformidad			UGR	
		Iluminancia media (lx)	Uniformidad	Iluminancia media (lx)	Uniformidad	UGR	Valor mínimo	C	S	Valor mínimo	C	S	Valor máximo	S
B11	LED	1308.59	0.61	1580	0.6	20.2	500			0.5			19	
B21	LED	1179.41	0.83	1271	0.54	20.8	500			0.5			19	
B22	LED	1197.94	0.87	1645	0.62	20.6	500			0.5			19	
B31	LED	1191.13	0.88	1366	0.62	20.5	500			0.5			19	
B32	LED	1231.13	0.87	1667	0.58	20.4	500			0.5			19	
B41	LED	1374.56	0.90	1555	0.55	16.5	500			0.5			19	
B42	LED	1333.00	0.94	1117	0.59	16	500			0.5			19	
B43	LED	1365.00	0.95	1617	0.56	16.3	500			0.5			19	
B44	LED	1351.44	0.92	1598	0.62	16.5	500			0.5			19	
Anexo B31	LED	1838.88	0.72	3884	0.16	16.9	500			0.5			19	
Anexo B41	LED	1728.06	0.84	2111	0.32	17	500			0.5			19	

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas. UGR solo es posible su cálculo por medio de simulación debido a su complejidad.

En la Tabla 25 se puede observar que la iluminancia media de los salones del Edificio B cumple de sobra con el valor mínimo establecido es las normativas, esto se cumple tanto en los datos calculados como en los datos simulados.

En cuanto a la uniformidad, en los datos simulados, solamente el anexo B31 y anexo B41 no cumplieron con lo establecido en las normativas, esto puede deberse a que el dato mínimo de iluminancia obtenido en la simulación fue demasiado bajo lo que afectó en el cálculo de uniformidad. Es importante mencionar que esto puede deberse a muchos factores a la hora de simular, como es la hora que se establece, la posición que se colocan las luminarias, entre otros. En cuanto a la uniformidad, de los datos calculados se puede observar que todos cumplen con el valor mínimo establecido por las normativas, esto es importante ya que este es un factor que puede perjudicar a la hora de recibir clases.

Por último, se tiene el valor de UGR (Índice de Deslumbramiento Unificado, por sus siglas en inglés), el cual es un parámetro que nos ayuda, en pocas palabras, saber que tan molesto puede llegar a ser la luz de los salones. Como se puede observar en la tabla los salones B41, B42, B43, B44, Anexo B31 y Anexo B32 tienen un UGR por debajo del máximo establecido por las normativas, los demás salones no cumplen esta normativa por lo que se debe proponer una solución a esta problemática lo cual se hará en la siguiente sección, ya que esto puede perjudicar la estancia y aprendizaje en estos salones de clase. Es importante mencionar que este parámetro solamente se ha obtenido por medio de simulación ya que para obtenerlo de forma manual es un proceso complejo y no se cuenta con los datos necesarios para poder realizarlo.

A continuación, se muestra una tabla en el caso de los salones del edificio B, pero en una condición nocturna donde hay una ausencia de la luz externa, para este caso solo se tienen los parámetros de simulación ya que debido a las remodelaciones aún no se tiene acceso a los salones en horario nocturno.

Tabla 26. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario nocturno del edificio B con los límites establecidos por las normativas.

Salón	Tipo de fuente lumínica	Valores en simulación (S)			Valores según normativas: UNE-EN 12464-1 y Decreto 89 "Reglamento General de Riesgos en los Lugares de Trabajo"					
		Iluminancia media (lx)	Uniformidad	UGR	Iluminancia media (lx)		Uniformidad		UGR	
					Valor mínimo	S	Valor mínimo	S	Valor máximo	S
B11	LED	935	0.83	20.2	500		0.5		19	
B21	LED	755	0.76	20.8	500		0.5		19	
B22	LED	766	0.74	20.6	500		0.5		19	
B31	LED	763	0.74	20.5	500		0.5		19	
B32	LED	744	0.75	20.4	500		0.5		19	
B41	LED	628	0.78	16.5	500		0.5		19	
B42	LED	649	0.76	16	500		0.5		19	
B43	LED	624	0.75	16.3	500		0.5		19	
B44	LED	621	0.73	16.5	500		0.5		19	
Anexo B31	LED	807	0.29	16.9	500		0.5		19	
Anexo B41	LED	796	0.31	17	500		0.5		19	

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas. UGR solo es posible su cálculo por medio de simulación debido a su complejidad.

Como se puede observar en la Tabla 26 la mayoría de parámetros varían con respecto a los obtenidos en horario diurno, esto era de esperarse ya que la iluminancia se ve bastante afectada por la luz exterior lo que hace que los valores de iluminancia media sen mucho menores en horarios nocturnos, pero es importante mencionar que aunque hay una baja en el valor de la iluminancia media, aún sigue cumpliendo el mínimo de las normativas, lo que es una buena señal para los estudiantes que reciban clases en estos salones. En cuanto a la uniformidad también se ve un cambio significativo con el horario diurno, pero podemos observar que en su mayoría los salones cumplen con la normativa solamente los correspondientes al anexo tienen un valor inferior. Por último, se

tiene el UGR el cual se puede observar no cumplen los salones B11, B21, B22, B31 y B32 ya que están levemente arriba del máximo que proyecta la normativa.

4.4.1.2 Edificio C

Como se había mencionado anteriormente el edificio C solo se ha analizado a través de la simulación ya que no se pudo realizar las mediciones en los salones, pero sabiendo que la disposición y las luminarias instaladas en este edificio son las mismas que en el edificio B se puedo realizar la simulación de este con lo que se obtuvo, para el caso de un horario diurno, los siguientes datos:

Tabla 27. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario diurno del edificio C con los límites establecidos por las normativas.

Salón	**Tipo de fuente lumínica**	**Valores en simulación (S)**			**Valores según normativas: UNE-EN 12464-1 y Decreto 89 "Reglamento General de Riesgos en los Lugares de Trabajo"**					
		Iluminancia media (lx)	**Uniformidad**	**UGR**	**Iluminancia media (lx)**		**Uniformidad**		**UGR**	
					Valor mínimo	**S**	**Valor mínimo**	**S**	**Valor máximo**	**S**
C11	LED	1580	0.59	20.3	500		0.5		19	
C21	LED	1330	0.53	20.8	500		0.5		19	
C22	LED	1656	0.63	20.7	500		0.5		19	
C31	LED	1366	0.57	21.1	500		0.5		19	
C32	LED	1617	0.6	20.4	500		0.5		19	
C41	LED	1689	0.5	16.4	500		0.5		19	
C42	LED	1150	0.6	16.1	500		0.5		19	
C43	LED	1719	0.56	16.4	500		0.5		19	
C44	LED	1678	0.63	16.5	500		0.5		19	

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas. UGR solo es posible su cálculo por medio de simulación debido a su complejidad.

Como era de esperarse los datos son muy similares a los obtenidos en el edificio B ya que la distribución y las luminarias instaladas son iguales. A continuación, se muestra el caso del edificio C en horas nocturnas.

Tabla 28. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario nocturno del edificio C con los límites establecidos por las normativas.

Salón	Tipo de fuente lumínica	Valores en simulación (S)			Valores según normativas: UNE-EN 12464-1 y Decreto 89 "Reglamento General de Riesgos en los Lugares de Trabajo"					
		Iluminancia media (lx)	Uniformidad	UGR	Iluminancia media (lx)		Uniformidad		UGR	
					Valor mínimo	S	Valor mínimo	S	Valor máximo	S
C11	LED	928	0.82	20.3	500		0.5		19	
C21	LED	754	0.75	20.8	500		0.5		19	
C22	LED	765	0.74	20.7	500		0.5		19	
C31	LED	727	0.74	21.1	500		0.5		19	
C32	LED	742	0.76	20.4	500		0.5		19	
C41	LED	619	0.74	16.4	500		0.5		19	
C42	LED	643	0.75	16.1	500		0.5		19	
C43	LED	619	0.73	16.4	500		0.5		19	
C44	LED	622	0.74	16.5	500		0.5		19	

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas. UGR solo es posible su cálculo por medio de simulación debido a su complejidad.

En el caso del edificio C en horarios nocturnos se puede observar que el único parámetro lumínico que no se encuentra dentro de los límites establecidos en las normativas es el UGR de los cuales no cumple el salón C11, C21, C22, C31 y C32.

4.4.1.3 Edificio D

Al igual que en el edificio C, este edificio solo se ha analizado a través de la simulación ya que no se pudo realizar las mediciones en los salones, pero sabiendo que la disposición y las luminarias instaladas en este edificio son las mismas que en el edificio B se puedo realizar la simulación de este con lo que se obtuvo, para el caso de un horario diurno, los siguientes datos:

Tabla 29. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario diurno del edificio D con los límites establecidos por las normativas.

Salón	Tipo de fuente lumínica	Valores en simulación (S)			Valores según normativas: UNE-EN 12464-1 y Decreto 89 "Reglamento General de Riesgos en los Lugares de Trabajo"					
		Iluminancia media (lx)	Uniformidad	UGR	Iluminancia media (lx)		Uniformidad		UGR	
					Valor mínimo	S	Valor mínimo	S	Valor máximo	S
D11	LED	1569	0.59	20.3	500		0.5		19	
D21	LED	1321	0.54	20.8	500		0.5		19	
D22	LED	1643	0.63	20.7	500		0.5		19	
D31	LED	1356	0.57	21.1	500		0.5		19	
D32	LED	1605	0.6	20.4	500		0.5		19	
D41	LED	1682	0.5	16.4	500		0.5		19	
D42	LED	1146	0.61	16.1	500		0.5		19	
D43	LED	1712	0.56	16.4	500		0.5		19	
D44	LED	1671	0.63	16.5	500		0.5		19	

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas. UGR solo es posible su cálculo por medio de simulación debido a su complejidad.

En el caso de horarios nocturnos se tiene:

Tabla 30. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario nocturno del edificio D con los límites establecidos por las normativas.

Salón	Tipo de fuente lumínica	Valores en simulación (S)			Valores según normativas: UNE-EN 12464-1 y Decreto 89 "Reglamento General de Riesgos en los Lugares de Trabajo"					
		Iluminancia media (lx)	Uniformidad	UGR	Iluminancia media (lx)		Uniformidad		UGR	
					Valor mínimo	S	Valor mínimo	S	Valor máximo	S
D11	LED	928	0.82	20.3	500		0.5		19	
D21	LED	754	0.75	20.8	500		0.5		19	
D22	LED	765	0.74	20.7	500		0.5		19	
D31	LED	727	0.74	21.1	500		0.5		19	
D32	LED	742	0.76	20.4	500		0.5		19	
D41	LED	619	0.74	16.4	500		0.5		19	
D42	LED	643	0.75	16.1	500		0.5		19	
D43	LED	619	0.73	16.4	500		0.5		19	
D44	LED	622	0.74	16.5	500		0.5		19	

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas. UGR solo es posible su cálculo por medio de simulación debido a su complejidad.

Como se puede observar en las tablas anteriores casi todos los edificios tienen valores muy similares en sus parámetros de iluminación esto es debido a que todos los edificios presentan la misma distribución y modelo de luminarias como se había mencionado anteriormente. Gracias a este análisis de estos parámetros se puede observar que parámetros cumplen las normativas y cuales no, a estos que no cumplen con las normativas se harán recomendaciones más adelante para poder mitigar o disminuir dicha diferencia a los valores establecidos por normativas.

4.4.1.4 Auditorio Miguel Mármol

En cuanto al Auditorio Miguel Mármol si se pudo obtener los datos a través del luxómetro por lo que se presentarán los datos calculados de forma manual y los datos simulados. Cabe mencionar que los datos obtenidos corresponden a un horario diurno, en cuanto al horario nocturno no habría un cambio muy drástico ya que el auditorio Mármol presenta poca iluminación externa. Los datos obtenidos del auditorio son:

Tabla 31. Comparación de parámetros lumínicos simulados en horario diurno del Auditorio Miguel Mármol con los límites establecidos por las normativas.

Tipo de fuente lumínica	Valores en campo (C)		Valores en simulación (S)			Valores según normativas: UNE-EN 12464-1 y Decreto 89 "Reglamento General de Riesgos en los Lugares de Trabajo"							
						Iluminancia media (lx)			Uniformidad			UGR	
	Iluminancia media (lx)	Uniformidad	Iluminancia media (lx)	Uniformidad	UGR	Valor mín	C	S	Valor mín	C	S	Valor máx	S
Fluorescente	313.44	0.68	344.19	0.27	22	500			0.5			19	

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas. UGR solo es posible su cálculo por medio de simulación debido a su complejidad.

Como se mencionó anteriormente el caso del Auditorio Mármol es un caso especial ya que este no tuvo una actualización en sus luminarias debido a las remodelaciones por los juegos Centroamericanos por lo que podemos observar que en los datos calculados manualmente no cumple ninguno de los parámetros lumínicos, esto puede deberse a la falta de mantenimiento que han tenido las luminarias en este recinto. Además, cabe destacar que en la sección de simulación se hizo un ajuste del factor de mantenimiento para poder obtener los datos más parecidos a lo real posible, con estos ajustes se puede observar que efectivamente el auditorio debido a la falta de mantenimiento no cumple con los requisitos mínimo y máximos en las normativas, por lo cual se debe buscar una solución a esta problemática la cual se abordará más adelante.

4.4.2 Comparación de datos de eficiencia energética calculados y simulados tomando en cuenta normativas

En esta sección se hará una comparación de los datos pertinentes a la eficiencia energética calculados con fórmulas y los datos de simulación obtenidos en DIALux Evo, el parámetro a comparar es el Valor de Eficiencia Energética Instalada (VEEI) y el LENI; además, se hará una comparación con los márgenes permitidos en las normativas, en este caso en específico en la normativa española DB HE y la UNE-EN 15193. Este análisis será realizado en cada uno de los salones de interés (Edificio B, C, D y auditorio Mármol).

4.4.2.1 Edificio B

En el caso del edificio B se poseen todos los datos de todos los salones y que se tuvo acceso completo a este edificio por lo que hacer la comparación entre datos calculados manualmente y datos simulados no será ningún problema. Al igual que en los parámetros lumínicos se mostrarán tablas comparativas tanto de horario diurno, como horario nocturno.

Tabla 32. Comparación de VEEI en horario diurno del edificio B con los límites establecidos por la normativa.

Salón	Tipo de fuente lumínica	Valores en campo (C)	Valores en simulación (S)	Valores según normativa española DB HE		
		VEEI (W/m^2) / 100 lx	VEEI (W/m^2) / 100 lx	VEEI (W/m^2) / 100 lx		
				Valor máximo	C	S
B11	LED	0.88	0.7	3.5		
B21	LED	0.81	0.69	3.5		
B22	LED	0.80	0.55	3.5		
B31	LED	0.80	0.66	3.5		
B32	LED	0.78	0.54	3.5		
B41	LED	0.70	0.58	3.5		
B42	LED	0.73	0.82	3.5		
B43	LED	0.71	0.57	3.5		
B44	LED	0.72	0.56	3.5		
Anexo B31	LED	0.53	0.28	3.5		
Anexo B41	LED	0.56	0.42	3.5		

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas.

Como se puede observar en la Tabla 32 los valores de VEEI cumplen tanto en los datos calculados manualmente como en los datos simulados, esto debido a que la tecnología de las luminarias instaladas en estos salones de clase es bastante eficiente ya que son luminarias LED, se puede observar que todos los salones quedan muy por debajo del límite establecido por la normativa, esto es algo favorable en cuando al consumo energético que tienen los salones de clase.

En el caso del VEEI en horarios nocturnos, al igual que en la sección anterior solo se muestra la comparación entre los valores obtenidos en la simulación la normativa, ya que como se mencionó anteriormente no se pudo obtener acceso a los salones en horario nocturno debido a las remodelaciones en estos. Los valores obtenidos en horario nocturno son:

Tabla 33. Comparación de VEEI en horario nocturno del edificio B con los límites establecidos por la normativa.

Salón	**Tipo de fuente lumínica**	**Valores en simulación (S)**	**Valores según normativa española DB HE**	
		VEEI (W/m^2) / 100 lx	**VEEI (W/m^2) / 100 lx**	
			Valor máximo	**S**
B11	LED	1.22	3.5	
B21	LED	1.23	3.5	
B22	LED	1.21	3.5	
B31	LED	1.22	3.5	
B32	LED	1.24	3.5	
B41	LED	1.47	3.5	
B42	LED	1.43	3.5	
B43	LED	1.48	3.5	
B44	LED	1.47	3.5	
Anexo B31	LED	1.13	3.5	
Anexo B41	LED	1.15	3.5	

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas.

Se puede observar que el valor de VEEI en el edificio B en horario nocturno aumente levemente pero siempre se mantiene por debajo del límite establecido por la normativa.

4.4.2.2 Edificio C

Como se había mencionado anteriormente el edificio C solo se ha analizado a través de la simulación ya que no se pudo realizar las mediciones en los salones, pero sabiendo que la disposición y las luminarias instaladas en este edificio son las mismas que en el edificio B se puedo realizar la simulación de este con lo que se obtuvo, para el caso de un horario diurno, los siguientes datos de eficiencia energética:

Tabla 34. Comparación de VEEI en horario diurno del edificio C con los límites establecidos por la normativa.

Salón	**Tipo de fuente lumínica**	**Valores en simulación (S)**	**Valores según normativa española DB HE**	
		VEEI (W/m^2) / 100 lx	**VEEI (W/m^2) / 100 lx**	
			Valor máximo	**S**
C11	LED	0.81	3.5	
C21	LED	0.66	3.5	
C22	LED	0.55	3.5	
C31	LED	0.67	3.5	
C32	LED	0.56	3.5	
C41	LED	0.54	3.5	
C42	LED	0.79	3.5	
C43	LED	0.54	3.5	
C44	LED	0.54	3.5	

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas.

Como se puede observar en la Tabla 34 todos los salones del edificio C cumplen con el requisito en cuanto al valor de eficiencia energético instalado. En el caso de horarios nocturnos se tiene:

Tabla 35. Comparación de VEEI en horario nocturno del edificio C con los límites establecidos por la normativa.

Salón	Tipo de fuente lumínica	Valores en simulación (S)	Valores según normativa española DB HE	
		VEEI (W/m^2) / 100 lx	VEEI (W/m^2) / 100 lx	
			Valor máximo	S
C11	LED	1.38	3.5	
C21	LED	1.23	3.5	
C22	LED	1.21	3.5	
C31	LED	1.28	3.5	
C32	LED	1.24	3.5	
C41	LED	1.48	3.5	
C42	LED	1.43	3.5	
C43	LED	1.48	3.5	
C44	LED	1.47	3.5	

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas.

4.4.2.3 Edificio D

Al que en el edificio C, este edificio solo se ha analizado a través de la simulación ya que no se pudo realizar las mediciones en los salones, pero sabiendo que la disposición y las luminarias instaladas en este edificio son las mismas que en el edificio B se puedo realizar la simulación de este con lo que se obtuvo, para el caso de un horario diurno, los siguientes datos:

Tabla 36. Comparación de VEEI en horario diurno del edificio D con los límites establecidos por la normativa.

Salón	Tipo de fuente lumínica	Valores en simulación (S)	Valores según normativa española DB HE	
		VEEI (W/m^2) / 100 lx	VEEI (W/m^2) / 100 lx	
			Valor máximo	S
D11	LED	0.7	3.5	
D21	LED	0.67	3.5	
D22	LED	0.55	3.5	
D31	LED	0.68	3.5	
D32	LED	0.56	3.5	
D41	LED	0.55	3.5	
D42	LED	0.79	3.5	
D43	LED	0.54	3.5	
D44	LED	0.54	3.5	
Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas.				

Para horario nocturno se tiene:

Tabla 37. Comparación de VEEI en horario nocturno del edificio D con los límites establecidos por la normativa.

Salón	Tipo de fuente lumínica	Valores en simulación (S)	Valores según normativa española DB HE	
		VEEI (W/m^2) / 100 lx	VEEI (W/m^2) /100 lx	
			Valor máximo	S
D11	LED	1.23	3.5	
D21	LED	1.23	3.5	
D22	LED	1.21	3.5	
D31	LED	1.28	3.5	
D32	LED	1.24	3.5	
D41	LED	1.48	3.5	
D42	LED	1.43	3.5	
D43	LED	1.48	3.5	
D44	LED	1.47	3.5	
Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas.				

Como se puede observar el valor de eficiencia energético instalado en los tres edificios de la Facultada de Ingeniería y Arquitectura se encuentran dentro del límite establecido por la normativa española DB HE, lo que conlleva a asegurar que el consumo de energía que estos salones presentan no es excesivamente alto lo que representa una gran ventaja en cuento al cuidado del medio ambiente y esto ayuda a que el gasto monetario no sea excesivo.

4.4.2.4 Auditorio Miguel Mármol

En cuanto al Auditorio Miguel Mármol si se pudo obtener los datos a través del luxómetro por lo que se presentarán los datos calculados de forma manual y los datos simulados. Cabe mencionar que los datos obtenidos corresponden a un horario diurno, en cuanto al horario nocturno no habría un cambio muy drástico ya que el auditorio Mármol presenta poca iluminación externa. Los datos obtenidos del auditorio son:

Tabla 38. Comparación de VEEI de Auditorio Mármol con los límites establecidos por la normativa

Salón	**Tipo de fuente lumínica**	**Valores en campo (C)**	**Valores en simulación (S)**	**Valores según normativa española DB HE**		
		VEEI (W W/m^2) / 100 lx	**VEEI (W/m^2) / 100 lx**	**VEEI (W/m^2) / 100 lx**		
				Valor máximo	**C**	**S**
Auditorio Miguel Mármol	Fluorescente compacta	5.53	5.52	8		

Nota: Las columnas C y S hacen referencia a Campo (C) y Simulación (S). El color verde significa que cumple las normativas y el color rojo que no cumple las normativas.

Como se puede observar en el caso del auditorio el VEEI tiene un valor más alto que en los salones de clase de los edificios, pero al ser este un auditorio el límite, según la normativa española DB HE, es de 8 W/m^2/100lx. Por lo que se puede decir que cumple satisfactoriamente esta normativa. Tener en cuenta que este valor puede ser mejorado si se actualizan las luminarias a una tecnología más moderna y eficiente.

4.4.3 Comparación de iluminancia promedio de los salones de clase antes y después de la remodelación

Para conocer si las remodelaciones realizadas en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura representan una mejora en la calidad de condiciones para poder recibir clases se debe compara el antes y el después de los salones de clase por lo que se ha realizado una tabla comparativa sobre los valores de iluminancia promedio antes y después de dichas remodelaciones, haciendo un recordatorio que los parámetros lumínicos antes de remodelación han sido tomados de un trabajo de investigación previo realizado en la facultad (Cornejo Salvador, Escobar Romero, & Ramírez Mendoza, 2015).

Tabla 39. Comparación de iluminancia promedio antes y después de las remodelaciones en la FIA.

Edificio	**Salón**	**Iluminancia promedio (lx)**				
		Valores de 2015		**Valores actuales**		**Valor mínimo por normativa EN 12464-1**
Edificio B	**B11**	401		1308.59		500
	B21	441		1179.41		500
	B22	411		1197.94		500
	B31	350		1191.13		500
	B32	517		1231.13		500
	B41	666		1374.56		500
	B42	542		1333.00		500
	B43	470		1365.00		500
	B44	505		1351.44		500
Nota: El recuadro verde significa que cumple con el mínimo según normativa y el recuadro rojo significa que no cumple con la normativa						

La comparación se ha realizado solamente del edificio B ya que de este se cuenta con todos los datos medidos lo que nos permite realizar una comparación más acertada, recordar que los demás edificios presentan un comportamiento similar pues la disposición y el tipo de luminarias es el mismo.

Podemos observar de la Tabla 39 que todos los valores de iluminancia han mejorado con una gran diferencia, esto es beneficioso ya que favorece a la hora de recibir clase en estos salones de clase; además, se puede observar que los salones que anteriormente no cumplían el requisito mínimo de iluminancia promedio establecido por la normativa, ahora si los cumplen. Es importante mencionar que los valores de iluminancia actual son salones en los cuales no hay pupitres, ni otros objetos por lo que al colocar estos puede verse afectado un poco los valores de iluminancia promedio, aunque posiblemente no sea un cambio tan considerable.

4.5 LENI

El indicador numérico de energía para iluminación es un buen indicador para saber el consumo de energía estimada que posee un edifico durante un periodo. El valor del LENI puede variar dependiendo de varios factores como lo son el tipo de edificio, la función que se desarrolla en estos, la ubicación, entre otros factores. Debido a esto el valor que te indica el LENI puede estar abierto a la interpretación ya que no existe valores que podamos considerar buenos o malos a diferencia del VEEI que se nos presentan valores límites. En el caso de LENI es necesario la comparación de los valores con valores de referencia, esto quiere decir comparar edificios con su misma clase y con esto podemos ver lo eficiente que el edifico es. Cabe recalcar que el valor del LENI entre más bajo es mejor.

A continuación, se realizará el desglose de valores LENI calculados y valores simulados, para obtener el valor más cercano con el simulado se presentan dos valores de LENI para los datos calculado: uno siendo todas las horas estimadas y otro con un factor de ausencia; esto debido a que los valores de DIALux se ven afectados por este parámetro. nota importante para esto se podrá observar una diferencia en los valores de superficie debido a como el simulador mide el área más exacta que en el caso de campo donde se realizaron aproximaciones debido a la geometría del lugar, el valor del cambio se encuentra debajo del 7% de error.

4.5.1 Valores de LENI calculados

Para este caso se tomó las horas diurnas y nocturnas determinadas en el apartado de DIALux, la potencia base de las luminarias encontradas en los salones, así como los valores de superficie que fueron calculados con los datos obtenidos en campo.

Tabla 40. Cálculo de valores LENI para edificio B y auditorio mármol.

Edificio	Potencia de luminaria [W]	Cantidad de luminarias	Potencia total [kWh]		Superficie [m^2]	Horas [h/año]		LENI (fa=0) [kWh/(m^2*año)]	LENI (fa=0.25) [kWh/(m^2*año)]
						Diurnas	Nocturnas		
Edificio B	72	108		7.78	906.70	1260	72	11.4	10.9
Auditorio Miguel Mármol	107 100	39 20	4.17 2	6.17	356.43	1260	72	23.1	21.9
Nota: Debido a que DIALux considera un factor de ausencia al calcular el valor del LENI máximo se optó por utilizarlo en su cálculo manual, dejando así un fator de ausencia 0 y de 0.25.									

Una situación bastante interesante para estos resultados es el valor que se obtiene de ambos edificios son muy diferentes, a pesar de que el Edificio B posee mayor superficie y tiene una mejor iluminación su valor de LENI es alrededor de la mitad del Auditorio Mármol demostrando la superioridad en eficiencia energética que tiene este edificio consumiendo la mitad de energía anual por metro cuadrado.

4.5.2 Valores de LENI simulados

A continuación, se presenta una tabla resumen de los valores suministrados por DIALux, como se puede observar se tienen valores máximos y mínimos para la mayoría de los edificios, esto es debido a los factores que toma en cuenta el software es más variados que los calculados anteriormente realizados; el valor máximo de LENI corresponde al valor calculado en el apartado anterior tomando en cuenta el factor de ausencia, y el valor mínimo de LENI es tomando ciertas condiciones como la dependencia de luz natural, en el caso del auditorio debido a los apantallamientos y falta de entrada de luz natural no se obtiene un valor mínimo de LENI ya que estos factores son considerados como cero por el programa.

Tabla 41.Resumen de valores de LENI obtenidos mediante DIALux para los edificios de clase.

Edificio	Potencia de luminaria [W]	Cantidad de luminarias	Potencia total [kWh]		Superficie [m2]	Horas [h/año]		DIALux LENI mínimo [kWh/(m2*año)]	DIALux LENI máximo [kWh/(m2*año)]
						Diurnas	Nocturnas		
Edifico B	72	108	7.78		925.4	1260	72	7	11
Edificio C	72	90	6.48		686.06	1260	72	8	11
Edificio D	72	90	6.48		686.06	1260	72	8.0	12.0
Auditorio Miguel Mármol	107 100	39 20	4.17 2	6.17	324.63	1260	72	24.0	

4.5.3 Valores de LENI de referencia

De acuerdo con los valores de referencia establecidos por los documentos de EN 15193 (Comité técnico AEN/CTN 72, 2008) nos da una tabla de referencia en el anexo F de **34.9 kWh/(m2*año)**. Como se puede ver los valores simulados y calculados cumplen de gran manera al dado como referencia por la norma. Como se puede ver esta norma tiene una fecha de 2008 por lo que este valor de referencia se puede ver anticuado ya que las tecnologías siguen mejorando y la transición de fluorescente a LED se intensifico.

Tomando la guía para edificios no domésticos sobre servicios (HM Government, 2013) que como se puede ver es más moderno, el valor que se debe cumplir es de **24.62 kWh/(m2*año)** que de igual manera la instalación de la universidad cumple de manera efectiva con estos valores.

4.6 NEC 2023

El código nacional eléctrico es un documento desarrollado en Estados Unidos y es el código que es aceptado dentro de nuestro país. A pesar de no tener un apartado específico sobre la iluminancia de un edificio en términos de confort visual, este tiene un apartado sobre la instalación eléctrica mínima que debe tener. Tomando este valor en cuenta podemos ver que la instalación eléctrica que deben poseer los edificios B, C y D está muy por encima del consumo eléctrico de la instalación eléctrica, considerando la buena iluminancia que hemos demostrado en los apartados anteriores podemos notas que el valor se encuentre por debajo del mínimo quiere decir que el edificio se

encuentra siendo eficiente. En el auditorio Mármol podemos ver que sobrepasa un poco la carga instalada a la mínima, esto quiere decir que la instalación eléctrica tuvo que ser calculada para esta y que la eficiencia energética no es la mejor sobre todo considerando la baja iluminancia que vimos en los apartados anteriores.

Tabla 42. Valores de potencia sobre área para validación con valores mínimos del NEC en instalación eléctrica.

Edificio	Potencia de luminaria [W]	Cantidad de luminarias	Potencia total [kW]		Superficie [m2]	NEC carga unitaria de instalación [W/m2]	NEC carga unitaria mínima [W/m2]
Edifico B	72	108	7.78		925.4	8.40	16
Edificio C	72	90	6.48		686.06	9.45	16
Edificio D	72	90	6.48		686.06	9.45	16
Auditorio Miguel	107	39	4.17				
Mármol	100	20	2	6.17	324.63	19.0	18

4.7 Propuestas de mantenimiento

En necesario plantear un plan de mantenimiento para cualquier habitación que sea ocupada, especialmente si se desea que la iluminación se mantenga en niveles adecuados para su correcto uso.

Anteriormente durante este documento hemos ido discutiendo ciertos aspectos que son indispensables dentro de las simulaciones realizadas, una de ellas es el factor de mantenimiento, este valor conlleva una serie de variables reversibles y no reversibles que afectan el desempeño de las luminarias.

Algunos de los factores no reversibles es el envejecimiento de las luminarias, este puede ser el envejecimiento de sus materiales ya sea por la temperatura de operación, ambientes salados, grasosas o polvorientos pueden afectar de esta manera a las luminarias. En el caso del factor no reversible la solución que se puede realizar es cara y poco común, debido a que implica el reemplazo de la luminaria, por lo que tomar en cuenta estas situaciones es importante a la hora de diseñar. Los factores reversibles encapsulan todos aquellos que afectan al nivel de iluminación que puede ser solventado con la limpieza, pintado de paredes, cambios de bulbos, entre otros.

Cabe resaltar que el mantenimiento sugerido para las luminarias no es un reflejo de las actividades habituales de limpieza que estos salones deben de estar expuesto.

Edificio B, C y D

El caso de estos edificios es bastante especial debido a su reciente modificación, estando en uso estas luminarias por alrededor de un año y estar siendo adecuados para recibir clases próximamente por lo que estos deberían tener un estado optimo y muy limpio, ya que al finalizar este proceso se espera una limpieza exhaustiva de los mismos. Como perfil de mantenimiento se seguirá las recomendaciones obtenidas en la CIE 97:2005 (Comité Europeo de Normalización, 2005) con inspecciones cada dos años en los salones de clase que conllevaran la inspección del estado de luminarias, la limpieza del salón, consideración de pintura para reestablecer la reflexión de cielo y pared. Este mantenimiento es para mejorar el estado del salón ya que se realizan actividades de limpieza extras a las que deberían estar sometidos los salones comúnmente.

Auditorio Miguel Mármol

En la evaluación realizada en este salón, se pudo observar una situación precaria en el mantenimiento de este, teniendo una limpieza precaria de las luminarias y que ciertas de ellas poseen bulbos que están en mal estado o quemados por lo que se recomienda un mantenimiento correctivo, considerando la vejez de las luminarias se recomienda el cambio de difusores, limpieza de carcasa de luminaria y reemplazo de bulbos a la gran mayoría de ellas. Vale la pena considerar el uso de bulbos con tecnología LED para evitar el cambio de luminarias y obtener los beneficios energéticos que estas ofrecen al poder ahorrar y mejorar la iluminación dentro del edificio que como fue expuesto anteriormente en las condiciones actuales no cumple las normativas de iluminación media. Posterior a este mantenimiento correctivo debe entrar en el mismo régimen que los otros edificios expuestos con la inspección cada dos años (incluye la limpieza general, consideración de pintura, etc).

CAPITULO 5: CONCLUSIONES

1. En esta tesis se evaluó las variables relevantes que afectan el confort visual y el consumo de energía de las luminarias en los salones de clases de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, como la intensidad y uniformidad de luz, el tamaño de los salones, el deslumbramiento y el consumo energético. Con esto se verificó que los salones de clase más importantes como lo son el edificio B, C y D después de su remodelación quedaron en condiciones óptimas para recibir clases, teniendo valores de iluminación superiores a los necesitados, con una buena uniformidad en la mayoría de salones siendo el único valor cuestionable el deslumbramiento (UGR) que en varios locales supero los valores esperados; además, en estos salones fueron instalados nuevas luminarias, paneles LED, que son de los más eficientes del mercado reduciendo de gran manera el consumo energético y gasto económico. Asimismo, la evaluación realizada en Auditorio Miguel Mármol demostró que este no fue remodelado por lo que aún se encuentra equipado con luminarias fluorescentes (lineales y compactas) que tienen un consumo mayor que en el caso de los otros salones y se puede ver una falta de mantenimiento con ciertas luminarias con tubos al final de su vida útil y otros sin funcionamiento; además, se obtienen valores de iluminación deficientes a los recomendados, la uniformidad y deslumbramiento se encontraban en valores aceptables.
2. Se logró desarrollar modelos de simulación, en DIAlux, que permiten predecir el consumo de energía y el confort visual de las luminarias en diferentes condiciones de iluminación, en este caso se dejó configurado para horario diurno y nocturno en los salones de clases. Todas estas simulaciones de los Edificios B, C y D están realizadas con las debidas medidas y remodelaciones que se observaron en campo y las luminarias simuladas son las provistas por el fabricante, por lo tanto, poseen las características de las luminarias instaladas ya sea en medida, consumo energético, color de la luz, flujo luminoso, entre otros. En el caso del Auditorio Miguel Mármol debido a sus luminarias con tecnología anterior no se pudo procurar un archivo de las luminarias del fabricante original por lo que se usó un archivo de luminaria distinto y se parametrizo para igual el consumo energético, temperatura del color y el flujo luminoso de las instaladas siendo el único parámetro que no se pudo igualar a las reales las dimensiones físicas de la luminaria.

3. Se validaron las simulaciones mediante la comparación de los resultados obtenidos en la recolección de datos reales en la medición de variables y los obtenidos con las simulaciones. Debido a las limitaciones impuestas por las remodelaciones que estaban en curso en los edificios y los horarios en los que se podían realizar mediciones solo se pudo hacer una comparación en horario diurno del edificio B y del auditorio Miguel Mármol, obteniendo resultados favorables en la iluminación media de cada salón que divergen en promedio en el 17% aproximadamente, teniendo ciertos picos en algunos salones debido a la luz natural ya que en campo se tienen factores externos que pueden alterar las mediciones, siendo estos árboles o edificios que producen sombras cerca del perímetro del mismo. En el caso de la uniformidad en el edificio B ambos estudios se obtuvo valores por encima de los 0.5, siendo los valores de datos reales mucho mayores a los de datos simulados, haciendo un análisis comprensivo de esto podemos inducir que esto se debe a que la simulación toma una cantidad de puntos de análisis mucho mayor a los que se pueden tomar en campo por lo que el deslumbramiento por la luz natural y por puntos focales más cercanos debajo de las luminarias genera este desbalance en los datos de uniformidad. La uniformidad en el Auditorio Miguel Mármol es un poco más compleja debido al método usado para medir la iluminación en esta simulación, debido a la geometría que este posee se tuvieron que crear zonas distintas de estudio por lo que la uniformidad proporcionada por la simulación se puede ver afectada, dando como resultado lo obtenido actualmente en que en dato real llega a 0.68 y en la simulación es de 0.27.
4. En la presente investigación se compararon los valores obtenidos en el muestreo con los recomendados en el decreto No 89 “Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo” con interés en los artículos 130 al 136 referente a iluminación y la norma europea de iluminación de interiores UNE-EN 12464-1, de la comparación se obtuvieron resultados favorables ya que en su mayoría los salones cumplen con las normativas utilizadas en esta investigación en cuanto a parámetros lumínicos como lo son la iluminancia media donde todos los salones estudiados presentan un valor muy superior al mínimo, al igual que en el caso de la uniformidad donde también se presentan valores favorables en cuanto a los requisitos según normativas; en cuanto al deslumbramiento (UGR) un 50% de los salones no cumple con la normativa donde el límite superior es de 19 y se obtuvieron valores entre 16 y 22. Cabe destacar que el valor de deslumbramiento

se obtuvo de simulaciones, debido a la complejidad de su cálculo manual, a pesar de estos valores obtenidos de simulación, el fabricante de las luminarias instaladas establece en su manual que estas poseen una tecnología anti deslumbramiento que el software de DIALux puede no haberlo tomado en cuenta, ya que en la experiencia en campo no se pudo confirmar un deslumbramiento molesto, esto se puede corroborar cuando los salones vuelvan a su funcionamiento normal por lo que se recomienda hacer un estudio de iluminación enfocado en la experiencia y comodidad del estudiante. En cuanto a los valores de eficiencia energética instalada (VEEI) en los salones remodelados también cumplen de satisfactoriamente los valores requisitos expuestos en las normativas.

5. Con lo obtenido en esta investigación se proponen algunas recomendaciones: la implementación de sistemas de control automático que puede incluir sensores de presencia en los salones para encender y apagar automáticamente en función de la ocupación de estas, esto ayudara a disminuir el consumo energético, también implementar un sistema de gestión centralizada, lo que ayudaría a mantener monitorizada la iluminación de los salones de clase, esto beneficiaria en el control de consumo energético; otra reforma para evitar el deslumbramiento debido a la luz natural que entra por las ventanas es la instalación de cortinas o persianas.

BIBLIOGRAFÍA

Alfaro Cristales, B. E., & Devani Hernandez, E. L. (2020). *EVALUACION DE LOS NIVELES DE ILUMINACION EN LAS INSTALACIONES DE LA FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.* San Salvador: Universidad de El Salvador.

Assaf, L. O., & Pereira, F. O. (2003). *Perspectivas de la Eficiência Energética en la Iluminación: desafios para el desarrollo. ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO NAS EDIFICAÇÕES.*

Beltrán Molina, J. J., & Merchán Arévalo, C. E. (2013). *NIVELES DE ILUMINACIÓN Y SU RELACIÓN CON LOS POSIBLES EFECTOS VISUALES EN LOS EMPLEADOS DE UNA IPS DE BOGOTÁ.* Bogotá: Fisioterapia Iberoamericana.

Calvillo Cortés, A. B. (2010). *Luz y Emociones: Estudio sobre La Influencia.* Barcelona: Universitat Politécnica de Catalunya, Tesis doctoral.

Castro Guaman, M. P., & Posligua Murillo, N. C. (2015). *Diseño de iluminación con luminarias tipo led basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas.* Ecuador: Universidad Politénica Salesiana Sede Guayaquil.

Claudia, S., & Fuquen Gonzalez, H. (s.f.). Eficiencia energética. *Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial*.

Comité Europeo de Normalización. (2002). *Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.* AENOR.

Comité Europeo de Normalización. (2005). *Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems* (segunda ed.). Vienna.

Comité técnico AEN/CTN 72. (2008). *Eficiencia energética de los edificios. Requisitos energéticos para la iluminación.* AENOR.

Cornejo Salvador, C. A., Escobar Romero, G. A., & Ramírez Mendoza, C. A. (2015). *Estudio de iluminación natural y artificial en los.* San Salvador: Ciudad Universitaria.

DIAL GmbH. (2024). *DIALux*. Obtenido de https://www.dialux.com/es-ES/

Fraile Vilarrasa, J., & Gago Calderon, A. (2012). *Iluminación con tecnología LED.* Paraninfo, SA.

Fundamentos de ergonomía. (2016). En M. G. Obregón Sánchez, *Fundamentos de ergonomía* (págs. 109-134). México D.F.: Editorial Patria.

Hernández, I. M. (2012). *Evolución en Iluminación.* Zacatecas, México.

HM Government. (2013). *Non-Domestic Building Services Compliance Guide.*

IESNA. (2000). *The IESNA Lighting Handbook.* New York.

Ingco Tools . (s.f.). *Luxometro digital HETLU01*.

International Comission on Illumination. (2002). *Lighting of indoor workplaces* (Second ed.).

Light-tec. (2024). *Ficha técnica panel led 2*4 72W.*

Linares Llamas, P. (2009). Eficiencia Energética y Medio Ambiente. *Economía y Medio Ambiente*(847), 75-92.

López Vergara, I., & Vergara Alonso, H. (2017). *ESPECTRO VISIBLE E IMÁGENES DIGITALES, UN RECURSO PARA EL APRENDIZAJE.* Diálogos en la Praxis: Miradas y saberes de los actores educativos.

Martínez Domínguez, F. (2003). *Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales.* Ediciones Parainfo, SA.

Ministerio de Educación de Francia. (s.f.). Capacitación Eficiencia Energética y Energías Renovables.

Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. (2022). *Documento Básico HE Ahorro de energía.*

National Fire Protection Association. (2023). *National Electrical Code.* Massachusetts: National Electrical Code Comittee. Obtenido de https://link.nfpa.org/free-access/publications/70/2023

Organizacion de Naciones Unidas. (2016). *Aceleración de la adopción mundial de la iluminación energéticamente eficiente.*

Pattini, A., & Yamin, J. (2011). Confort visual en espacios interiores iluminados con luz natural en climas soleados. Modelos teóricos y valoraciones subjetivas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 17-23.

Robles Machuca, L. F. (2014). *Confort Visual: Estrategias para el diseño de iluminación natural en aulas del sistema de educación básica primaria en el AMM Nuevo León* . Nuevo León: Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Sánchez, C., & Fuquen Gonzalez, H. (junio de 2014). Eficiencia Energética. *Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial*.

Silverio Valle, L., & et al. (2021). Eficiencia energética en edificios de oficinas mediante tecnología de iluminación LED y parque solar FV. *vol. 42*.

Vera Mazuelos, G. A., & Muros Alcojor, A. (2021). *La temperatura de color y su rol dentro de la iluminación artificial de espacios de educación inicial.* Barcelona: Arquitek.

ANEXOS

Anexo A- Especificación técnica del luxómetro

Distancia	LUX / FC, 1000、10000、100000
Precisión	± (3% + 5Lux) (a 2854'K lámparas incandescentes)± (6% + 5Lux) otros Características de la desviación del ángulo coseno 30 • ± 2%; entonces · ± 6%; 80 '±2 5%
Calibración	Calibrado a una lámpara incandescente estándar a temperatura de color2854ºK
Resolución	1LUX/1FC
Sensor	Fotodiodo de silicio y filtro de respuesta espectral
Condiciones de operación	Temperatura: 0-40 ° C, Humedad: <80% RH Altitud: <2000 m
Condiciones de almacenaje	Temperatura -10-so • c, Humedad <80% RH

Tasa de muestreo	Aproximadamente 2 veces por segundo
Rango espectral	320-730nm
Apagado automático	10 minutos
Poder	3 pilas de 1.5VAAA (LR03)

Anexo B- Ficha técnica de luminaria ligh-tec 2*4 72W

light-tec
be bright. save energy.

Panel 2X4 72w

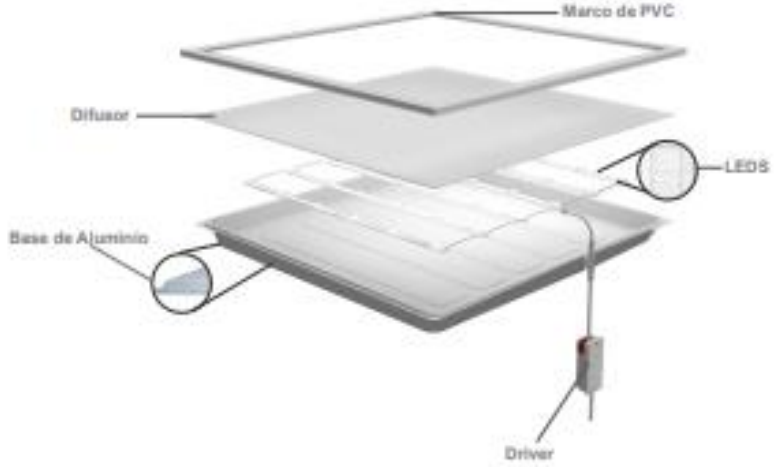
LED

Voltaje: 100 - 277V
Consumo: 72 Watts
Ángulo: 110°
Eficiencia: 100 lm/w
Horas de vida: 50,000hrs
Color: 4,100k / 6,000k
Factor de Potencia: >0.9
Grado de protección: IP20
CRI: ≥ 80
Temperatura de trabajo:-25°c a +40°c
THD: <20%

7,200 lm

SELV

Fabricado con BACKLIGHT
El BACKLIGHT evita que el difusor se torne color amarillo ya que los LEDs se encuentran en la parte de atrás del panel y no alrededor.



Temperatura de Color

Ahorro hasta un 55%

www.light-tec.com.gt

Anexo C- Tabla NEC 2023 con los valores de carga generales de iluminación.

Table 220.42(A) General Lighting Loads by Non-Dwelling Occupancy

Type of Occupancy	Unit Load	
	Volt-amperes/ m^2	Volt-amperes/ ft^2
Automotive facility	16	1.5
Convention center	15	1.4
Courthouse	15	1.4
Dormitory	16	1.5
Exercise center	15	1.4
Fire station	14	1.3
Gymnasium[1]	18	1.7
Health care clinic	17	1.6
Hospital	17	1.6
Hotel or motel, or apartment house without provisions for cooking by tenants[2]	18	1.7
Library	16	1.5
Manufacturing facility[3]	24	2.2
Motion picture theater	17	1.6
Museum	17	1.6
Office[4]	14	1.3
Parking garage[5]	3	0.3
Penitentiary	13	1.2
Performing arts theater	16	1.5
Police station	14	1.3
Post office	17	1.6
Religious facility	24	2.2
Restaurant[6]	16	1.5
Retail[7, 8]	20	1.9
School/university	16	1.5
Sports arena	16	1.5
Town hall	15	1.4
Transportation	13	1.2
Warehouse	13	1.2
Workshop	18	1.7

Note: The 125 percent multiplier for a continuous load as specified in 210.20(A) is included, therefore no additional multiplier shall be required when using the unit loads in this table for calculating the minimum lighting load for a specified occupancy.

[1]Armories and auditoriums are considered gymnasium-type occupancies.

[2]Lodge rooms are similar to hotels and motels.

[3]Industrial commercial loft buildings are considered manufacturing-type occupancies.

[4]Banks are office-type occupancies.

[5]Commercial (storage) garages are considered parking garage occupancies.

[6]Clubs are considered restaurant occupancies.

[7]Barber shops and beauty parlors are considered retail occupancies.

[8]Stores are considered retail occupancies.

For NFPA Free Access