

**Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica**

Evaluación y Nuevo Diseño del Sistema de Iluminación de los Laboratorios del LAFTLA de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Por:

Manuel de la Fuente Fernández

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Enero de 2021

Evaluación y Nuevo Diseño del Sistema de Iluminación de los Laboratorios del LAFTLA de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Por:

Manuel de la Fuente Fernández

Sometido a la Escuela de Ingeniería Eléctrica
de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad de Costa Rica
como requisito parcial para optar por el grado de:
LICENCIADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Aprobado por el Tribunal:

HELBER JOSE MENESES NAVARRO (FIRMA) Firmado digitalmente por HELBER JOSE MENESES NAVARRO (FIRMA)
Fecha: 2021.04.18 20:24:45 -06'00'

Lic. Helber Meneses Navarro
Representante del Director, Escuela de Ingeniería Eléctrica

LUIS DIEGO MARIN NARANJO (FIRMA) Firmado digitalmente por LUIS DIEGO MARIN NARANJO (FIRMA)
Fecha: 2021.04.06 18:24:02 -06'00'

Ing. Luis Diego Marín Naranjo, MSc.
Director, Comité Asesor

JUAN RAMON RODRIGUEZ SOLERA (FIRMA) Firmado digitalmente por JUAN RAMON RODRIGUEZ SOLERA (FIRMA)
Fecha: 2021.04.08 17:28:04 -06'00'

Ing. Juan Ramón Rodríguez Solera
Miembro, Comité Asesor

LUIS FERNANDO ANDRES JACOME (FIRMA) Firmado digitalmente por LUIS FERNANDO ANDRES JACOME (FIRMA)
Nombre de reconocimiento (DN): serialNumber=CPF-01-0634-0184, sn=ANDRES JACOME, givenName=LUIS FERNANDO, c=CR, o=PERSONA FISICA, ou=CIUDADANO, cn=LUIS FERNANDO ANDRES JACOME (FIRMA)
Fecha: 2021.04.07 13:46:45 -06'00'

Ing. Luis Fernando Andrés Jácome
Miembro, Comité Asesor

JOSE ANTONIO ECHEVERRIA GONZALEZ (FIRMA) Digitally signed by JOSE ANTONIO ECHEVERRIA GONZALEZ (FIRMA)
Date: 2021.04.08 17:36:25 -06'00'

Arq. José A. Echeverría González
Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis hijos Manuel y José Ángel a fin de que el mismo sirva como inspiración para ellos de que la edad no es un obstáculo para lograr las metas que uno se proponga alcanzar en la vida.

RECONOCIMIENTOS

Deseo reconocer al Profesor Luis Diego Marín, M.Sc., Coordinador del Laboratorio de Fotonica y Tecnología Laser Aplicada (LAFTLA) de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCR por el apoyo que me brindo durante la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

EVALUACIÓN Y NUEVO DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LOS LABORATORIOS DEL LAFTLA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.	I
EVALUACIÓN Y NUEVO DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LOS LABORATORIOS DEL LAFTLA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.	II
DEDICATORIA	III
RECONOCIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
NOMENCLATURA.....	X
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	12
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.4 OBJETIVOS.....	13
1.5 ALCANCE	14
1.6 METODOLOGÍA.....	14
1.7. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN	16
2. MARCO TEÓRICO.	17
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ILUMINACIÓN.	17
2.1.1. DEFINICIONES.	17
2.1.2. CONCEPTO DE ILUMINACIÓN POR CAPAS.....	20
2.1.2.1. CAPA ILUMINACIÓN GENERAL O DE AMBIENTE.	21
2.1.2.2. CAPA ILUMINACIÓN DE TAREAS.....	21
2.1.2.3. CAPA ILUMINACIÓN DE ACENTO.....	22
2.1.2.4. CAPA ILUMINACIÓN DECORATIVA.....	22
2.1.2.5. CAPA ILUMINACIÓN LUZ NATURAL (DAYLIGHTING).	22
2.2. CUALIDADES DE LAS FUENTES DE LUZ.	23
2.3. LA TECNOLOGÍA DE ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO (SSL).	26
2.3.1. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE LOS LEDs.....	26
2.3.2. FUNCIONAMIENTO DE LOS LEDs.	29
2.4. LUMINARIAS.	32
2.4.1. COMPONENTES DE CONTROL ÓPTICO.....	33
2.4.2. CLASIFICACIÓN DE LAS LUMINARIAS.	34
2.4.2.1. CLASIFICACIÓN POR APLICACIÓN DE LAS LUMINARIAS.	34
2.4.2.2. CLASIFICACIÓN POR CARACTERÍSTICAS FOTOMÉTRICAS DE LAS LUMINARIAS.....	36
2.4.2.3. DESLUMBRAMIENTO.	38

2.4.3. CLASIFICACIÓN DE PROTECCIÓN (IPXX).....	40
2.4.4. GRADO DE PROTECCIÓN CONTRA CHOQUES MECÁNICOS (IKXX).....	41
2.5. EL PROCESO DE DISEÑO EN ILUMINACIÓN.....	42
2.5.1. PASOS SECUENCIALES PARA SOLUCIONES DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN EXITOSAS.....	42
2.5.2. FORMAS DE ILUMINAR UN LABORATORIO.....	46
2.6. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN ESPACIOS DE INTERIORES.....	52
2.7. CONTROLES DE ILUMINACIÓN.....	55
2.8. MARCO NORMATIVO.....	57
3. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA ILUMINACIÓN EN LOS LABORATORIOS.....	61
3.1. DATOS DEL LOCAL.....	61
3.2. LUMINARIAS INSTALADAS.....	65
3.3. TAREAS VISUALES.....	67
4. MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LOS LABORATORIOS.....	68
5. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA PROPUESTA DE ILUMINACIÓN.....	76
6. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA NUEVA ALTERNATIVA DE ILUMINACIÓN PARA LOS LABORATORIOS.....	82
6.1. DATOS DEL DISEÑO PROPUESTO.....	83
6.2. IMÁGENES RENDERIZADAS DEL DISEÑO PROPUESTO CON DIALUX EVO.....	85
6.3. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DEL DISEÑO PROPUESTO CON DIALUX EVO.....	86
6.4. SIMULACIÓN DE ESCENAS PROPUESTAS EN DIALUX EVO.....	92
6.5. COMPARACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DEL ALUMBRADO ACTUAL Y EL NUEVO ALUMBRADO PROPUESTO.....	98
6.6. PRESUPUESTO DEL ALUMBRADO PROPUESTO.....	99
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
7.1. CONCLUSIONES.....	100
7.2. RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXOS.....	105
ANEXO A. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS LEICA GEOSYSTEMS.....	105
ANEXO B. REPORTES GENERADOS POR LOS DE EQUIPOS LEICA GEOSYSTEMS (MEDICIÓN DE DISTANCIAS POR LÁSER).....	107
ANEXO C. FICHA TÉCNICA DE LA LUMINARIA EXISTENTE EN LOS LABORATORIOS.....	110
ANEXO D. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR DE ILUMINANCIA (LAFTLA).....	111
ANEXO E. FICHA TÉCNICA DE LA LUMINARIA PROPUESTA.....	112
ANEXO F. REPORTE COMPLETO DE LA SIMULACIÓN EN DIALUX EVO 9.2.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CONCEPTO DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN POR CAPAS.....	21
FIGURA 2. PRINCIPIO DE ELECTROLUMINISCENCIA EN LEDS.....	28
FIGURA 3. PARTES DE UN LED.....	29
FIGURA 4. COLOR DE LA LUZ EMITIDA POR UN LED EN FUNCIÓN DE LOS MATERIALES.....	30
FIGURA 5. DEPRECIACIÓN DEL FLUJO LUMINOSO EMITIDO POR UN LED EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.	31
FIGURA 6. FLUJO LUMINOSO RELATIVO DE UN LED EN FUNCIÓN DE LA CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN.....	32
FIGURA 7. MEJORAS EN MANTENER LAS EFICACIAS A MAYORES CORRIENTES PARA LEDS.	32
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN LUMINOSA DE VARIOS TIPOS DE LUMINARIAS.	38
FIGURA 9. "ESQUEMA DOWNLIGHTING" CON LUMINARIAS EMPOTRADAS (ILUMINACIÓN DE LABORATORIOS).....	47
FIGURA 10. "ESQUEMA DOWNLIGHTING" CON LUMINARIAS DE PARCHE O SEMI EMPOTRADAS (ILUMINACIÓN DE LABORATORIOS).	48
FIGURA 11. "ESQUEMA DOWNLIGHTING" CON LUMINARIAS SOBRE MUEBLE (ILUMINACIÓN DE LABORATORIOS).	49
FIGURA 12. TÉCNICA ILUMINACIÓN LABORATORIO LUMINARIA DIRECTA - INDIRECTA.....	50
FIGURA 13. TÉCNICA ILUMINACIÓN LABORATORIO LUMINARIA DIRECTA - INDIRECTA COMO CAPA TAREA.....	51
FIGURA 14. TÉCNICA ILUMINACIÓN LABORATORIO LUMINARIA DIRECTA - INDIRECTA COMO CAPA TAREA.....	51
FIGURA 15. DEFINICIÓN DEL ÁREA CIRCUNDANTE INMEDIATA SEGÚN LA NORMA INTE/ISO 8995 2016: PARTE 1.	60
FIGURA 16. CAD DE LOS DOS LABORATORIOS DEL LAFTLA.....	61
FIGURA 17. FOTOGRAFÍA DEL LABORATORIO LABORATORIO 1-10 (LAFTLA).	62
FIGURA 18. FOTOGRAFÍA DEL LABORATORIO LABORATORIO 1-11 (LAFTLA).	62
FIGURA 19. MONTAJE DEL MEDIDOR DE DISTANCIA LÁSER LEICA DISTO X4.	65
FIGURA 20. FOTOGRAFÍA DE LAS LUMINARIAS EXISTENTES EN LOS LABORATORIOS LAFTLA.	66
FIGURA 21. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ÁREA PARA EL LABORATORIO 1-10 (LAFTLA).	69
FIGURA 22. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ÁREA PARA EL LABORATORIO 1-11 (LAFTLA).	69
FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN DE LAS ZONAS DE MEDICIÓN PARA LOS LABORATORIOS 1-10 Y 1-11 (LAFTLA).....	70
FIGURA 24. MONTAJE PARA LAS MEDICIONES EN UNA ZONA QUE NO CONTIENE MUEBLE (LAFTLA).....	72
FIGURA 25. MEDICIÓN SOBRE MUEBLE (LAFTLA).	72
FIGURA 26. LUMINARIAS TAPADAS CON UN ZARÁN NEGRO LABORATORIO 1-10 (LAFTLA).	74
FIGURA 27. RESUMEN DE LAS ESPECIFICACIONES DE LA LUMINARIA SELECCIONADA.....	78
FIGURA 28. IMAGEN DE LA LUMINARIA SELECCIONADA.	79
FIGURA 29. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL CONTROL / SENSOR INTELIGENTE INALÁMBRICO EN LA LUMINARIA.	80
FIGURA 30. OPCIONES SYLSMART DEL MODELO RUBICO LED.	81
FIGURA 31. BOTONES DEL INTERRUPTOR INALÁMBRICO SYLSMART.	81
FIGURA 32. IMAGEN DEL INTERRUPTOR INALÁMBRICO SYLSMART.	82
FIGURA 33. LOCALES DEFINIDOS EN LA SIMULACIÓN.	83
FIGURA 34. DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS EN LOCAL ACCESO.	84
FIGURA 35. DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS EN LOCAL LABORATORIO 1-10.....	84
FIGURA 36. DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS EN LOCAL LABORATORIO 1-11.....	85
FIGURA 37. DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS EN LOCAL LABORATORIO 1-11.....	85
FIGURA 38. IMAGEN RENDERIZADA EN LOCAL LABORATORIO 1-10.....	86
FIGURA 39. IMAGEN RENDERIZADA EN LOCAL LABORATORIO 1-11.....	86
FIGURA 40. CURVAS ISOLUX EN EL PLANO ÚTIL EN LOCAL ACCESO.	87
FIGURA 41. CURVAS ISOLUX EN EL PLANO ÚTIL EN LOCAL LABORATORIO 1-10.	88
FIGURA 42. SUPERFICIES DE CÁLCULO EN LOCAL LABORATORIO 1-10.	88
FIGURA 43. VALORES DE DESLUMBRAMIENTO DIALUX EVO / LABORATORIO 1-10.	89
FIGURA 44. CURVAS ISOLUX EN EL PLANO ÚTIL EN LOCAL LABORATORIO 1-11.	90
FIGURA 45. SUPERFICIES DE CÁLCULO EN LOCAL LABORATORIO 1-11.	91
FIGURA 46. VALORES DE DESLUMBRAMIENTO DIALUX EVO / LABORATORIO 1-11.	92

FIGURA 47. GRUPOS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN POR LOCAL. LABORATORIOS LAFTLA.	92
FIGURA 48. CURVAS ISOLUX EN PLANO ÚTIL (ESCENA TODO ENCENDIDO) LABORATORIO 1-10.....	94
FIGURA 49. CURVAS ISOLUX EN PLANO ÚTIL (ESCENA EN CLASES) LABORATORIO 1-10.	94
FIGURA 50. CURVAS ISOLUX EN PLANO ÚTIL (ESCENA PROYECTO ESPECIAL) LABORATORIO 1-10.....	95
FIGURA 51. CURVAS ISOLUX EN PLANO ÚTIL (ESCENA TODO ENCENDIDO) LABORATORIO 1-11.....	95
FIGURA 52. CURVAS ISOLUX EN PLANO ÚTIL (ESCENA EN CLASES) LABORATORIO 1-11.	96
FIGURA 53. CURVAS ISOLUX EN PLANO ÚTIL (ESCENA TRABAJO ESCRITORIO) LABORATORIO 1-11.....	96
FIGURA 54. CURVA DE ENCENDIDO Y APAGADO DEL SENSOR DE MOVIMIENTO.	97
FIGURA 55. CANTIDAD DE LUMINARIAS POR POTENCIA DE LA PROPUESTA DE ILUMINACIÓN.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PONDERACIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....	17
TABLA 2. TIPOS DE LUMINARIAS POR DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO LUMINOSO.	36
TABLA 3. ÍNDICES DE DESLUMBRAMIENTO.	39
TABLA 4. PRIMER DÍGITO DEL CÓDIGO IP (IEC 60529).	40
TABLA 5. SEGUNDO DÍGITO DEL CÓDIGO IP (IEC 60529).	41
TABLA 6. SISTEMA DE CODIFICACIÓN IK (IEC 62262).....	42
TABLA 7. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE ÁREA Y EL NÚMERO DE ZONAS DE MEDICIÓN.	54
TABLA 8. NIVELES DE ILUMINANCIA PROMEDIO PARA ESPACIOS EDUCACIONALES.	58
TABLA 9. NIVELES DE ILUMINANCIA PROMEDIO EN LOS ENTORNOS INMEDIATOS CON RESPECTO A LOS NIVELES DEL ÁREA DE TAREA.	60
TABLA 10. LECTURAS DE SUPERFICIE Y ALTURA DE CIELO RASO PARA LOS LABORATORIOS.	64
TABLA 11. RESUMEN DE DATOS TÉCNICOS DE LAS LUMINARIAS INSTALADAS EN LOS LABORATORIOS.	65
TABLA 12. CANTIDAD DE LUMINARIAS INSTALADAS POR LABORATORIO.	67
TABLA 13. RESUMEN MEDICIONES ILUMINANCIA LABORATORIO 1-10.....	73
TABLA 14. RESUMEN MEDICIONES ILUMINANCIA LABORATORIO 1-11.....	74
TABLA 15. RESUMEN MEDICIONES REFLECTANCIAS DE MUEBLES LABORATORIO 1-10.	75
TABLA 16. RESUMEN MEDICIONES REFLECTANCIAS DE MUEBLES LABORATORIO 1-11.	75
TABLA 17. MEDICIONES REFLECTANCIAS DE PARED DE LOS LABORATORIOS.	76
TABLA 18. OPCIONES DE LA LUMINARIA SELECCIONADA POR LOCAL.	83
TABLA 19. RESUMEN DE DATOS LUMINOTÉCNICOS SUPERFICIES DE CÁLCULO / LABORATORIO 1-10.....	89
TABLA 20. RESUMEN DE DATOS LUMINOTÉCNICOS SUPERFICIES DE CÁLCULO / LABORATORIO 1-11.....	91
TABLA 21. CONFIGURACIÓN DE LAS ESCENAS PROPUESTAS / LABORATORIO 1-10.	93
TABLA 22. CONFIGURACIÓN DE LAS ESCENAS PROPUESTAS / LABORATORIO 1-11.	93
TABLA 23. PROGRAMACIÓN CONTROL SYLSMART / LABORATORIO 1-10.	97
TABLA 24. PROGRAMACIÓN CONTROL SYLSMART / LABORATORIO 1-11.	97
TABLA 25. COMPARACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DEL ALUMBRADO ACTUAL Y EL NUEVO ALUMBRADO PROPUESTO.	99
TABLA 26. PRESUPUESTO DEL NUEVO ALUMBRADO PROPUESTO.....	99

NOMENCLATURA

<i>CEI</i>	<i>Comité Español de Iluminación.</i>
<i>CRI</i>	<i>Color Rendering Index (Índice de Reproducción de Color).</i>
<i>IEC</i>	<i>International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional).</i>
<i>IES</i>	<i>Illuminating Engineering Society (Sociedad de Ingeniería de Iluminación).</i>
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización).</i>
<i>LAFTLA</i>	<i>Laboratorio de Fotónica y Tecnología Láser Aplicada.</i>
<i>LED</i>	<i>Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz).</i>
<i>NOM</i>	<i>Norma Oficial Mexicana.</i>
<i>SSL</i>	<i>Solid State Lighting (Iluminación de Estado Sólido).</i>
<i>UCR</i>	<i>Universidad de Costa Rica.</i>

RESUMEN

El objetivo de este proyecto final es evaluar el estado actual del sistema de iluminación de los laboratorios del LAFTA, específicamente los dos laboratorios conocidos como el Laboratorio 1-10 y el Laboratorio 1-11, y proponer mejoras en dicho sistema tomando en consideración las tareas visuales, el cumplimiento de las normativas en cuanto a niveles de iluminancia para este tipo de espacios, una práctica actualizada del diseño de iluminación, la eficiencia energética y las últimas tecnologías de la iluminación de estado sólido (LED). Este proyecto NO abarcará fuentes de luz artificial incandescente, fluorescente y HID por considerarse que las mismas no son novedosas. El trabajo se basa en 5 etapas: Etapa 1. Búsqueda Bibliográfica. Etapa 2. Diagnóstico de los laboratorios del LAFTLA. Etapa 3. Medición de los parámetros luminotécnicos de los laboratorios. Etapa 4. Análisis y Selección de la nueva alternativa y Etapa 5. Simulación y Validación de la nueva alternativa.

Como conclusiones se logró cumplir con el objetivo que tenía el proyecto que era contar con una guía básica para el diseño de iluminación para laboratorios. En cuanto al marco normativo se puede concluir que en todas las normativas consultadas los laboratorios son considerados como espacios de trabajo en interiores ya que los mismos no solo existen en el ámbito académico, sino que los podemos encontrar en diferentes industrias, incluida la industria de la iluminación. El estado actual de la iluminación de los laboratorios del LAFTLA presenta niveles inferiores a los establecidos en la norma nacional. Además, el sistema de iluminación no permite control de nivel lo que podría generar escenarios más apropiados para el tipo de trabajo que se efectúa en los mismos. El diseño propuesto se enfocó prioritariamente en lograr los niveles recomendados por la norma nacional aprovechando la ubicación actual de las luminarias y logrando la mínima afectación a la infraestructura actual o un excesivo cableado eléctrico adicional. Se recomienda llevar a cabo la propuesta establecida en este proyecto ya que la misma logra cumplir la norma nacional en cuanto al nivel de iluminancia promedio. Adicionalmente la intervención a la infraestructura del sistema actual es mínima y el cableado eléctrico adicional es mínimo. La propuesta permite también flexibilidad en su aplicación por medio de los interruptores inalámbricos.

1. Introducción

El presente proyecto responde a una necesidad concreta planteada por el Profesor Luis Diego Marín, M.Sc., Coordinador del Laboratorio de Fotónica y Tecnología Laser Aplicada (LAFTLA) de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCR debido a que se considera que dicha iluminación está construida con una tecnología superada por las nuevas tecnologías del LED y adicionalmente no cumple con las necesidades visuales de los laboratorios.

Adicionalmente se desarrolló un marco teórico el cual podrá servir como referencia a futuros diseños de iluminación de este tipo de espacios para la UCR u otras universidades del país.

1.3. Planteamiento del problema

El problema que se pretendió resolver es la actualización del sistema de iluminación de los laboratorios del LAFTLA para que el mismo responda a sus necesidades visuales actuales y futuras, empleando para tal fin la última tecnología LED disponible lo que redundará en un ahorro de energía. Dicha economía será aumentada con el empleo de sistemas de control de iluminación. Para resolver el problema se realizó inicialmente un análisis de las tareas visuales que se efectúan en ambos laboratorios, ya que las mismas son complejas debido a que se efectúan mediciones u otras prácticas con láseres u otros tipos de fuentes de luz lo que implica que muchas veces hay que apagar la iluminación del laboratorio para hacer las demostraciones a los estudiantes, esto dado que el tipo de iluminación con que cuentan actualmente los laboratorios no permite controlar niveles de iluminación. De ahí que se evaluó la opción de incorporar tecnología LED con controles de iluminación de forma tal que se pueda desarrollar ciertas actividades en los laboratorios con niveles bajos de luz lo que permita a los estudiantes tomar notas.

Adicionalmente se efectuaron mediciones de los niveles de iluminancia en los dos laboratorios. Dichos valores se deben confrontar contra la norma vigente en Costa Rica [8] ya que muchas veces el tipo de actividad visual que se desarrolla es más de carácter de oficina o de aula universitaria. Posteriormente se realizó una simulación de la iluminación propuesta para los dos laboratorios empleando el software DIALUX Evo [5] para lograr los niveles requeridos por la norma.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el estado actual del sistema de iluminación de los laboratorios del LAFTA y proponer mejoras en dicho sistema tomando en consideración las tareas visuales que se efectúan, el cumplimiento de las normativas en cuanto a niveles de iluminancia de este tipo de espacios, una práctica actualizada del diseño de iluminación, la eficiencia energética y las últimas tecnologías de la iluminación de estado sólido (LED).

1.4.2 Objetivos específicos

- a. Realizar una búsqueda bibliográfica en lo relacionado a las técnicas de iluminación, iluminación de estado sólido (SSL), control de iluminación y normativa para laboratorios.
- b. Analizar los factores que se deben tomar en cuenta para implementar un sistema de iluminación en un laboratorio.
- c. Diagnosticar la situación de los dos laboratorios del LAFTLA desde el punto de vista de la luminotecnia.
- d. Medir los niveles de iluminación actual en los dos laboratorios del LAFTLA.
- e. Comparar los niveles de iluminación actual de los laboratorios con la normativa de iluminación vigente.

- f. Proponer una alternativa tecnológica nueva basada en Iluminación de estado sólido que permita cumplir con las expectativas del proyecto y que culmine con un nuevo diseño de Iluminación.
- g. Desarrollar simulaciones de la opción propuesta mediante el software Dialux Evo para conocer con detalle el comportamiento de las luminarias tipo LED.

1.5 Alcance

El proyecto pretende evaluar y mejorar el sistema de iluminación de los dos laboratorios del LAFTLA conocidos como el Laboratorio 1-10 (Prácticas Experimentales y Desarrollo de Proyectos de Graduación en: Optoelectrónica, Comunicaciones Ópticas, Radiometría y Mediciones de Láser) y el Laboratorio 1-11 (Investigación y Desarrollo en: Radiometría, Fotometría y Metrología en Parámetros Ópticos). Dicho sistema de Iluminación debe responder a las necesidades visuales actuales y futuras, empleando para tal fin la última tecnología LED disponible lo que redundará en un ahorro de energía. Dicha economía será aumentada con el empleo de sistemas de control de iluminación. Igualmente se desea aprovechar este proyecto para proponer un marco teórico sobre criterios de iluminación en laboratorios el cual podrá servir como referencia a futuros diseños de iluminación de dichos espacios para la UCR u otras universidades del país. Por lo tanto este proyecto NO abarcará fuentes de luz artificiales basadas en el principio de funcionamiento por incandescencia, fluorescencia y descarga por considerarse que las mismas no son novedosas.

1.6 Metodología

Etapa 1. Búsqueda Bibliográfica.

En esta etapa se efectuará una búsqueda bibliográfica relacionada con tecnologías de Iluminación de Estado Sólido, criterios y técnicas de iluminación de laboratorios, control de iluminación orientado a fuentes de luz de estado sólido (LEDs) y normativa relacionada

con iluminación de laboratorios. Todo esto con el fin de documentar el marco teórico que se pretende desarrollar sobre criterios de iluminación en laboratorios el cual podrá servir como referencia a futuros diseños de iluminación de estos espacios para la UCR u otras universidades del país y adicionalmente permitirá plantear la nueva alternativa tecnológica para los laboratorios del LAFTLA.

Etapa 2. Diagnóstico de los laboratorios del LAFTLA.

En esta etapa se determinarán todas las actividades visuales que se desarrollan en los laboratorios para lo cual se efectuara una entrevista al Coordinador del LAFTLA y se realizaran vistas a los laboratorios en periodos lectivos para anotar todas las condiciones visuales de los espacios. Se documentarán los proyectos en marcha o futuros para los laboratorios que pudieran implicar alguna toma de decisión respecto al sistema de iluminación. Se registrará todo el mobiliario existente en los laboratorios, las características técnicas completas de las luminarias existentes, su disposición y su forma de control de iluminación y cualquier otra característica de los espacios que pudiera tener alguna influencia en el sistema de iluminación.

Etapa 3. Medición de los parámetros luminotécnicos de los laboratorios del LAFTLA.

En esta etapa se procederá a la medición de los niveles de iluminancia en las áreas de trabajo siguiendo la normativa establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 [14]. Esto incluirá los índices de reflexión de las superficies de los laboratorios.

Etapa 4. Análisis y Selección de la nueva alternativa.

En esta etapa se compararán los niveles medidos en la etapa 3 con respecto a la norma nacional [8] para aquellas tareas visuales que están contempladas dentro de dicha norma y para las tareas visuales especiales se recurrirá al resto de las referencias normativas [6], [9].

Esta etapa nos generará una serie de escenas de iluminación para cada de las tareas visuales que se desarrollan en los laboratorios.

Finalmente se seleccionará la alternativa de luminaria LED a utilizar basándose en los criterios de diseño de Iluminación en Laboratorios que se tomaran de las referencias [3], [9], [12], [15], [16], [17]. Se seleccionará un proveedor del cual se documentará la ficha técnica de la luminaria así como su archivo fotométrico en cual será utilizado en la Etapa 5. Igualmente se establecerá la técnica de control de iluminación que se utilizará en la nueva propuesta.

Etapa 5. Simulación y Validación de la nueva alternativa.

En base a la información recolectada en las etapas 2, 3(índices de reflexión) y 4 se procederán a efectuar simulaciones de los niveles de iluminación de ambos laboratorios para validar la nueva propuesta. Durante esta etapa se solicitará a la administración del edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica el plano en CAD de la planta del primer piso en donde se encuentran ubicados los laboratorios ya que este es otro de los insumos necesarios para efectuar las simulaciones. La simulación incluirá las escenas correspondientes a las diferentes actividades visuales que se desarrollan en estos espacios.

1.7. Procedimiento de evaluación

El proyecto se realizará en cinco etapas tal y como fue planteado en la sección anterior, cada una dependiente de la anterior, en las cuales están presentes tanto aspectos teóricos como prácticos. Todos forman parte importante del proyecto. La parte documental (Etapa 1) es crucial para cumplir con los objetivos de documentar el marco teórico y adicionalmente permitir sustentar la nueva alternativa tecnológica para los laboratorios del LAFTLA. La siguiente tabla resume la ponderación de cada una de las etapas:

Tabla 1. Ponderación de la Evaluación del proyecto.

Etapas	Ponderación
Etapa 1. Búsqueda Bibliográfica.	20%
Etapa 2. Diagnóstico de los laboratorios del LAFTLA.	10%
Etapa 3. Medición de los parámetros luminotécnicos de los laboratorios del LAFTLA.	20%
Etapa 4. Análisis y Selección de la nueva alternativa.	20%
Etapa 5. Simulación y Validación de la nueva alternativa e Informe del Trabajo Final de Graduación.	30%
TOTAL:	100%

En la última ponderación se incluye adicionalmente la evaluación del informe del trabajo final de graduación.

2. Marco teórico.

2.1. Conceptos básicos de la Iluminación.

El diseño de iluminación permite proporcionar luz en cantidades adecuadas a fin de facilitar la ejecución de las actividades con el alto rendimiento visual.

Teniendo en cuenta esta perspectiva, se puede mencionar que un sistema de iluminación eficaz es aquel que, además de satisfacer las necesidades visuales, crea también ambientes saludables, seguros y confortables.

2.1.1. Definiciones.

* Luminotecnia: arte, ciencia y diseño de iluminación en general, y desarrollo de sistemas para la producción, dirección, control o aplicación de la luz en particular.

* Iluminación: aplicación de luz a una escena, objetos o a sus alrededores. Este término es también empleado coloquialmente con el sentido de “sistema de iluminación” o “instalación de iluminación”

* Flujo luminoso [Φ_v ; Φ]: magnitud que se deriva del flujo radiante, Φ_v , mediante la evaluación de la radiación de acuerdo a su acción sobre el observador fotométrico de referencia CIE. Cantidad total de luz emitida por una fuente lumínica. Unidad: lumen (lm).

* Intensidad Luminosa: relación entre el flujo luminoso, Φ_v , que sale de la fuente y se propaga en el elemento de ángulo sólido $d\Omega$ que contiene la dirección dada, por el elemento de ángulo sólido.

$$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega} \quad (2.1.1-1)$$

Es la forma en que se distribuye en el espacio la luz emitida por las fuentes de luz. Unidad: candela ($\text{cd} = \text{lm} \cdot \text{sr}^{-1}$).

NOTA: La definición está sujeta estrictamente a una fuente puntual.

* Iluminancia (en un punto de la superficie) [E_v ; E]: cociente entre el flujo luminoso $d\Phi_v$ incidente en un elemento de superficie que contiene el punto y el área dA de este elemento. Es la cantidad de flujo luminoso incidente en un plano de trabajo por unidad de área. Unidad: $\text{lx} = \text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$.

* Medidor de iluminancia o iluminancímetro: Es un instrumento que mide el nivel de iluminación real de un ambiente.

* Luminancia (en una dirección dada, en un punto dado de una superficie real o imaginaria) [L_v ; L]: Cantidad definida por la fórmula:

$$L_v = \frac{d^2\Phi_v}{dA \cos\theta d\Omega} \quad (2.1.1-2)$$

Dónde:

$d\Phi_v$ es el flujo luminoso transmitido por un haz elemental que atraviesa el punto dado y que se propaga en el ángulo sólido $d\Omega$ que contiene la dirección dada;

dA es el área de una sección de dicho rayo que contiene el punto dado;

θ es el ángulo entre la normal a dicha sección y la dirección del rayo.

Unidad: $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2} = \text{lm}\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$

* Medidor de luminancia o luminancímetro: instrumento utilizado para medir luminancia

* Lámpara: Fuente fabricada para producir radiación óptica, normalmente visible. Es el nombre que se le da a las fuentes artificiales de luz.

* Luminaria: Es una unidad completa de iluminación la cual consiste de los siguientes componentes: Una o más lámparas, dispositivos ópticos diseñados para distribuir la luz conocido como conjunto óptico o bloque óptico (reflectores, difusores, refractores y/o rejillas), portalámparas (socket) para posicionar y proteger las lámparas y para conectarlas a la red eléctrica, los equipos auxiliares cuando la fuente de luz así lo requiera y los componentes mecánicos requeridos para soportarla o fijarla a una estructura.

* Reflexión: proceso por el cual la radiación es devuelta por una superficie o un medio, sin cambio de frecuencia de sus componentes monocromáticos.

NOTA 1: Parte de la radiación que llega a un medio se refleja en la superficie del medio (reflexión en superficie); otra parte podría ser difundida desde el interior del medio (reflexión en volumen).

NOTA 2: La frecuencia no cambia únicamente si no existe efecto Doppler debido al movimiento de los materiales de los que la radiación es devuelta.

* Refracción: proceso por el cual se modifica la dirección de una radiación debido a cambios en su velocidad de propagación al atravesar un medio ópticamente no homogéneo, o al atravesar una superficie que separa medios diferentes.

* Índice de refracción (de un medio, para una radiación monocromática de longitud de onda, λ , en el vacío) [$n(\lambda)$]: relación entre la velocidad de las ondas electromagnéticas en el vacío y la velocidad de la fase de las ondas de la radiación monocromática en el medio.

Unidad: 1

* Transmitancia (para una incidencia de una composición espectral dada, polarización y distribución geométrica) [τ]: relación entre el flujo radiante o flujo luminoso y el flujo incidente en las condiciones dadas.

Unidad: 1

* Deslumbramiento: condición de visión en donde existe una molestia o una reducción de la capacidad de ver detalles u objetos y causada por una distribución inadecuada del rango de luminancia, o a contrastes extremos.

2.1.2. Concepto de Iluminación por capas.

El principio de capas proporciona un marco para comprender y lograr la composición y la estética en el diseño de iluminación. La estratificación permite elecciones juiciosas que aseguran que los requisitos de diseño pueden establecerse antes de seleccionar el tipo o estilo de luminaria. En general, el uso de capas de iluminación proporciona variedad de espacio e interés, al mismo tiempo que proporciona flexibilidad para el usuario final. Además, dado que se presta más atención a la iluminación de superficies específicas, la iluminación en capas suele ser más eficiente que iluminar un espacio de manera uniforme.

Las capas de luz se identifican en el orden de su importancia e impacto visual. Cada capa tiene responsabilidades únicas para iluminar ciertas tareas visuales; sin embargo, las capas a menudo trabajan juntas para iluminar partes del espacio.

Diseño de iluminación por capas

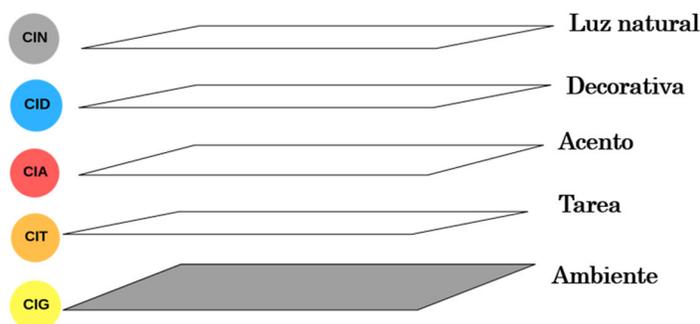


Figura 1. Concepto de Diseño de Iluminación por capas.

(Confección propia)

2.1.2.1. Capa Iluminación general o de ambiente.

Proporciona la iluminación general en una habitación, es el papel de la iluminación ambiental. En la iluminación ambiental no se ilumina tareas específicas, sino que proporciona la luz que permite moverse en el espacio y otro reconocimiento visual básico. La cantidad de luz ambiental es importante; si el nivel de luz ambiental en el espacio es significativamente más bajo que los niveles de tareas, el contraste entre la tarea y la luz ambiente será alto y el espacio aparecerá más dramático. Por otro lado, si los niveles de luz ambiental son casi tan altos como los niveles de tareas, la sala será más brillante, más alegre y más relajante. Debido a su impacto en el estado de ánimo o ambiente de la habitación, la elección de la iluminación ambiental es crítica.

2.1.2.2. Capa Iluminación de tareas.

Esta capa es utilizada para iluminar tareas específicas desarrolladas dentro de un espacio. Muchas de estas tareas se efectúan en escritorios o mesas, por lo tanto es usual proveer luz

en las localizaciones donde se llevan a cabo estas tareas. Desde el punto de vista de ahorro energético es preferible proveer mayores niveles de iluminación en las áreas de trabajo que en el espacio entero.

2.1.2.3. Capa Iluminación de Acento.

Esta capa es utilizada típicamente para resaltar superficies verticales y objetos tridimensionales incluyendo elementos arquitectónicos, obras de arte, exhibidores y señalización.

Normalmente la fuente de luz de iluminación de acento no se ve, lo que se busca es resaltar la pared o el elemento.

2.1.2.4. Capa Iluminación Decorativa.

Una forma de verla es la joyería de la arquitectura. Su propósito principal es ser un ornamento del espacio para capturar el ojo. Se espera por lo general que este tipo de iluminación contribuya a la iluminación ambiental. En muchos diseños, la iluminación decorativa será la iluminación ambiental.

2.1.2.5. Capa Iluminación luz natural (Daylighting).

La disponibilidad de luz natural en un espacio debería ser evaluada como una oportunidad de reducir la iluminación artificial en las etapas iniciales del diseño. Esta es una capa cuyo diseño es más competencia de los arquitectos.

Ventajas:

- a. Ahorro de energía
- b. Revela los colores reales en el espacio.

- c. Provee vista y ventilación.
- d. Crea un efecto positivo en las personas reduciendo el stress.

2.2. Cualidades de las fuentes de luz.

Las fuentes de luz artificiales están bajo el control de las personas, cuando se consideran necesarias en la cantidad deseada. Sin embargo, debido a que las mismas consumen recursos naturales es que se hace necesario recurrir a las fuentes de luz natural en la medida de lo posible, y esto sigue siendo uno de los mayores desafíos para los arquitectos y diseñadores. En la práctica, las fuentes de luz pueden discutirse en términos de las cualidades de la luz que producen. Estas cualidades son críticas para conseguir el resultado final deseado y por lo tanto el profesional debe tener clara esta información a la hora de elegir la fuente de luz apropiada para las condiciones del espacio que está interviniendo.

Las características que definen la cualidad de una fuente de luz son las siguientes:

a. Temperatura correlacionada del color

Es un término que se usa para describir el color de una fuente luminosa comparándola con el de un cuerpo negro, que es el teóricamente “radiante perfecto”.

b. Índice de reproducción del color.

El CRI describe la calidad de una fuente de luz en una escala de 0 a 100, la capacidad de la misma para representar el color de los objetos de forma natural o realista, en comparación con una fuente de referencia con una temperatura de color comparable (ya sea luz incandescente o luz diurna, ambas con un CRI de 100).

c. Eficacia en Lúmenes por Watt.

La eficiencia energética de una fuente de luz se denomina su eficacia, y se mide en lúmenes por watt. La eficacia no tiene en cuenta la direccionalidad de la lámpara. Es una medida de

la cantidad de luz que produce una fuente de luz por cada watt de potencia eléctrica que consume. Por lo tanto entre mayor sea esta relación más eficiente será la fuente lumínica.

d. Mantenimiento del flujo luminoso.

Todas las fuentes de luz durante su vida útil, pierden capacidad de producir luz. El mantenimiento del flujo luminoso evalúa la cantidad de luz que se pierde al final de la vida de la lámpara. Este número es especialmente importante cuando se evalúan lámparas y luminarias LED, ya que los LED no fallan como lo hacen otras fuentes de luz. La vida útil de un LED se determina cuando la salida de luz se ha reducido a 70 por ciento.

* Factor de mantenimiento del flujo luminoso de una lámpara [4]: relación entre el flujo luminoso de una lámpara en un momento dado de su vida y su flujo luminoso inicial (Abreviatura: "LLMF")

Unidad: 1

e. Vida útil.

La vida útil de una lámpara tradicional es el tiempo total de funcionamiento en el que se espera que falle el 50 por ciento de un lote de lámparas. La vida útil de la lámpara para los LED se mide de manera diferente porque los LED normalmente no fallan pero continúan atenuándose con el tiempo. Su final de vida generalmente se califica en el momento en que producen solo el 70 por ciento de su salida lumínica original. La vida útil de la lámpara varía mucho entre las diferentes fuentes y, a menudo, es un factor importante en la selección de la lámpara.

f. Capacidad de atenuación.

La atenuación es el proceso mediante el cual las lámparas se operan a una intensidad menor, a menudo como un método de ahorro de energía o de creación de un ambiente. Con las lámparas incandescentes, la regulación es simple y económica; sin embargo, con otros tipos de lámparas, la atenuación puede ser considerablemente más compleja y, en algunos casos,

no aconsejable. En este apartado el diseñador debe verificar si la fuente de luz es sujeta a atenuación y en caso afirmativo cual sería la forma óptima de llevarla a cabo.

g. Requerimiento de un equipo auxiliar.

Para funcionar correctamente, muchas fuentes de luz eléctrica requieren un dispositivo eléctrico auxiliar, como un transformador, un balastro o un “driver”. Este dispositivo a menudo es físicamente grande y poco atractivo y puede crear un zumbido cuando está funcionando. Hay muchos tipos de lámparas de bajo voltaje, que funcionan a 6, 12 o 24 voltios. Los transformadores se utilizan para modificar la tensión de servicio para que coincida con la tensión de la lámpara. Los LED requieren un circuito electrónico llamado "driver" para funcionar correctamente. A menudo, los drivers son parte integral de la lámpara LED.

h. Tiempo de arranque

Algunas lámparas comienzan a funcionar tan pronto como se aplica la energía, pero otras requieren un pulso de alta energía. Este proceso lleva tiempo y la lámpara necesita calentarse para alcanzar su máxima intensidad. Además, si ocurre un fallo de energía, algunas lámparas deben enfriarse antes de que puedan reiniciarse (Las lámparas HID). Cuando la lámpara se calienta, primero brilla débilmente, luego, después de un modesto tiempo de calentamiento, finalmente emite toda la luz. Obviamente, estas consideraciones pueden afectar considerablemente el diseño cuando la seguridad puede verse comprometida por un largo tiempo de calentamiento o reinicio.

i. Ciclos de encendido

Algunas fuentes de luz se ven afectadas por los ciclos de encendido y apagado lo que ocasiona que se vea comprometida su vida útil. Este es el caso de las lámparas fluorescentes.

j. Temperatura de operación

Algunas lámparas son sensibles y / u optimizadas por la temperatura ambiente que las rodea. Si la lámpara se encuentra en condiciones distintas a la temperatura ambiente, es posible que se deba prestar especial atención a la selección.

k. Contaminantes peligrosos

Algunas fuentes de luz contienen elementos peligrosos para el medio ambiente como es el caso del mercurio el cual es un contaminante del medio ambiente y complica el proceso de reciclado de la lámpara una vez que finalice su vida útil.

2.3. La tecnología de Iluminación de estado sólido (SSL).

En esta sección se discutirá el estado actual de las tecnologías de iluminación de estado sólido (SSL) dado que esta es una tendencia muy clara en la industria de la iluminación y la misma ha abarcado todas las áreas de aplicación. En este proyecto no se abarcará fuentes de luz artificiales basadas en el principio de funcionamiento por incandescencia, fluorescencia y descarga por considerarse que las mismas no son novedosas.

2.3.1. Fundamentos técnicos de los LEDs.

Inicialmente vamos a definir de forma sencilla algunos conceptos relacionados con los LEDs.:

Un *chip* (o die en inglés) está formado por una superficie de material semiconductor de reducidas dimensiones, sobre el que se integran elementos electrónicos con diversas funcionalidades. Estos circuitos integrados pueden estar fabricados en un solo cristal, o un compuesto de dos o más. Un chip puede estar compuesto por un simple diodo, oled, o por muchos elementos electrónicos.

Un *semiconductor* es un elemento químico de la tabla periódica que se comporta como un conductor o como un aislante dependiendo de diversos factores, como puede ser un campo eléctrico o magnético, u otros. Los semiconductores más comunes son: silicio, germanio, cadmio, aluminio, galio e indio; tienen como característica que en su última capa tienen en-

tre 2 y 6 electrones. Este fenómeno de conducir la corriente, solo en ciertas circunstancias, se produce porque a partir de cierta temperatura algunos electrones saltan a la banda de conducción, dejando un hueco en la banda de valencia. Si se aplica corriente eléctrica a un semiconductor, se aceleran estos procesos de recombinación entre los huecos y electrones libres, liberándose mayor cantidad de energía, que se expresa en diversas formas. Está aumentando la conductividad del elemento, y la energía liberada puede tener forma de calor o de radiaciones.

Un **diodo** semiconductor es un componente electrónico (compuesto por dos materiales diferentes, unidos) que permite la circulación de la corriente eléctrica en un solo sentido. Al aplicar un pequeño voltaje, inicialmente el diodo no reacciona, hasta un cierto nivel de potencial, en el que empieza a dejar pasar la corriente. La unión de los dos elementos se denomina Unión PN, ya que son cristales puros de silicio o germanio dopados con impurezas que les confieren las características de P (portador de cargas libres positivas, o huecos) o del tipo N (portador de cargas libres negativas, o electrones).

Electroluminiscencia es un fenómeno por el cual un material emite luz como resultado de un estímulo en forma de corriente eléctrica. Existen fenómenos parecidos, de origen químico (quimioluminiscencia) o debidos a la temperatura (incandescencia). Ocurre en un material semiconductor cuando se le estimula mediante un diferencial de potencial en directo sobre sus terminales cátodo y ánodo), las cargas eléctricas negativas (electrones) y las cargas eléctricas positivas (huecos) son atraídas a la zona de unión, donde se combinan entre sí, dando como resultado la liberación de energía en forma de fotones (ver Figura N°2).

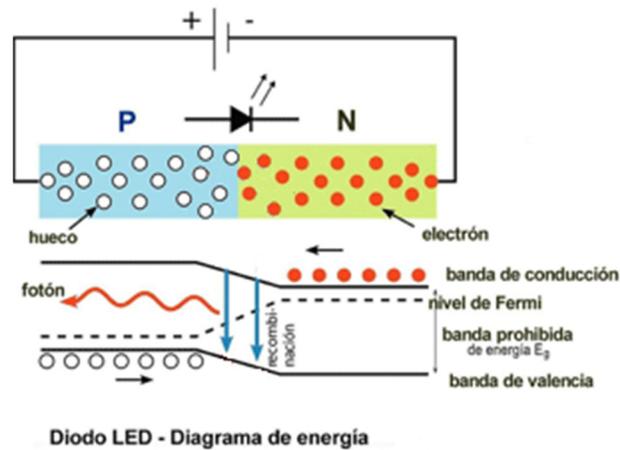


Figura 2. Principio de Electroluminiscencia en LEDs.

(Tomado de [11] página 11)

Qué es un led? LED, “Light Emitting Diode” o diodo emisor de luz, es un dispositivo semiconductor que transforma directamente la energía eléctrica en luz mediante electroluminiscencia. Los leds son considerados un tipo de iluminación en estado sólido (SSL, Solid State Lighting) así como los OLED (Organic Light Emitting Diodes) y los PLED (Polymer Light Emitting Diodes).

¿Cómo está construido un led? El tipo básico de led (Light Emitting Diode) es un diodo compuesto por la superposición de varias capas de material semiconductor que emite luz en una longitud de onda (en colores) cuando es polarizado correctamente. Este dispositivo permite el paso de la corriente en una única dirección. El diodo y su correspondiente circuito eléctrico se encapsulan en una carcasa-base, de resina epoxi o cerámica según las diferentes tecnologías. Este encapsulado consiste en una especie de cubierta sobre el dispositivo. En el interior de este encapsulado se pueden contener uno o varios leds (a este último caso se le denomina tecnología multichip).

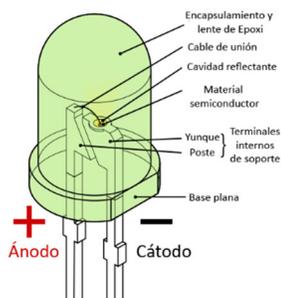


Figura 3. Partes de un LED.
(Tomado de [11] página 9)

2.3.2. Funcionamiento de los LEDs.

En los materiales semiconductores, aplicando una diferencia de potencial (voltaje) algunos electrones pueden pasar de la banda de conducción a la de valencia, perdiendo energía; esta energía perdida se puede manifestar en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria. Cuando un diodo semiconductor se polariza directamente, los huecos de la zona p se mueven hacia la zona n y los electrones de la zona n hacia la zona p; ambos desplazamientos de cargas constituyen la corriente que circula por el diodo. Si los electrones y huecos están en la misma región, pueden recombinarse, es decir, los electrones pueden pasar a «ocupar» los huecos, «cayendo» desde un nivel energético superior a otro inferior más estable. Este proceso emite con frecuencia un fotón en semiconductores de banda prohibida directa, con la energía correspondiente a su banda prohibida (ver Figura N°2). La emisión espontánea, por tanto, no se produce siempre en todos los diodos y solo es visible en diodos como los leds de luz visible, que tienen una disposición constructiva especial con el propósito de evitar que la radiación sea reabsorbida por el material circundante, y una energía de la banda prohibida coincidente con la correspondiente al espectro visible.

La superposición de varias capas de material semiconductor y el material semiconductor empleado en la fabricación del chip determinará las longitudes de onda emitidas (colores) que pueden variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarrojo. En los leds fabricados para iluminación, se han eliminado la radiación ultravioleta (UV) y la infrarroja (IR).

Según los materiales empleados y el tipo de construcción del semiconductor, la energía liberada al pasar un electrón de la banda de conducción a la de valencia se manifestará como un fotón (emitiendo luz) o como otra forma de energía, como calor por ejemplo. Para aplicaciones opto-electrónicas (aquellas en las que se genera luz) deben utilizarse otros materiales semiconductores como InGaP (fosfuro de indio y galio y aluminio) que emiten luz ámbar y roja, InGaN (nitruro de indio y galio), que emite en la zona próxima al UV luz verde y azul. Por este motivo, el material semiconductor empleado en la fabricación del chip es el responsable del color de la luz que emitirá (Ver Figura N°4).

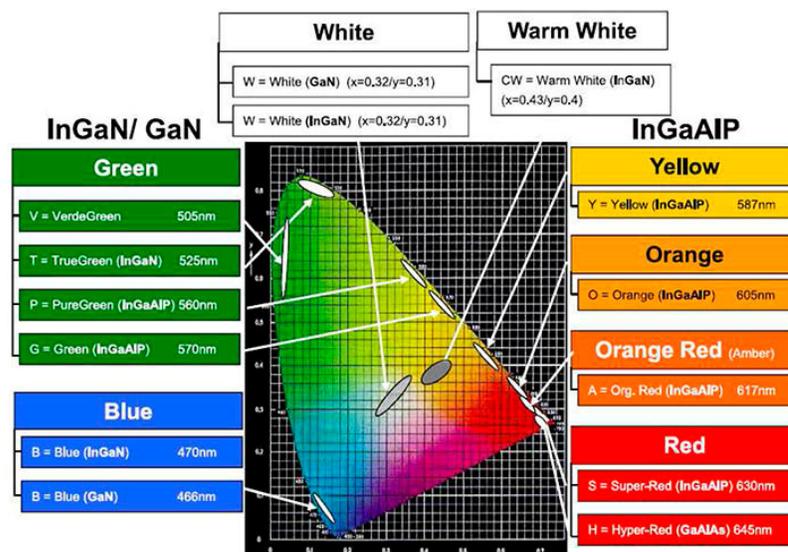


Figura 4. Color de la luz emitida por un LED en función de los materiales.

(Tomado de [11] página 18)

La alimentación que suele aplicarse a los leds suele ser de un voltaje entre 1 y 3 V, y una intensidad de corriente entre 0,1 y 3 A. A mayor potencia aplicada, mayor temperatura se alcanza en su interior, y los grados de eficiencia energética disminuyen. Los leds son muy susceptibles a los cambios de temperatura y operan más eficientemente a temperaturas ambiente más bajas, por lo tanto, es importante que los productos estén diseñados para permitir la ventilación óptima y la disipación térmica, de este modo se podrá asegurar la longevidad, el lumen de salida y la eficacia de los leds utilizados.

El funcionamiento del led es aparentemente muy simple, pero esta corriente que produce choques de electrones también libera energía en forma de calor, mayor cuanto mayor sea la corriente, y este deberá ser disipado porque es el principal enemigo del funcionamiento óptimo, y puede acortar la vida útil del diodo led. La principal causa de la depreciación del flujo luminoso de un led es el calor generado en la interfaz de unión del led. Al no emitir radiación infrarroja (IR), el calor producido en el proceso de generación de luz debe ser disipado por conducción o convección. Un aumento continuo de la temperatura de funcionamiento provocará dos efectos: una depreciación del flujo emitido y una depreciación permanente del flujo máximo.

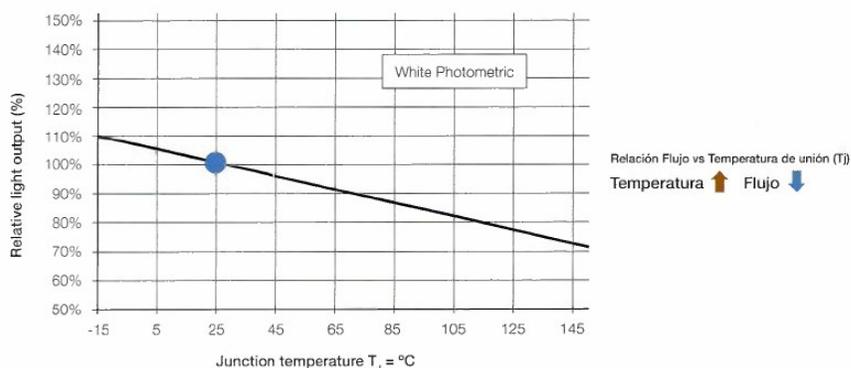


Figura 5. Depreciación del flujo luminoso emitido por un LED en función de la temperatura.

(Tomado de [11] página 13)

A mayor corriente, mayor es el flujo emitido, como podemos observar en las gráficas de los fabricantes. Pero, debido a los efectos de la temperatura, la relación no es lineal, disminuyendo su eficacia en lm/W cuando la corriente aumenta (Ver figura N°7).

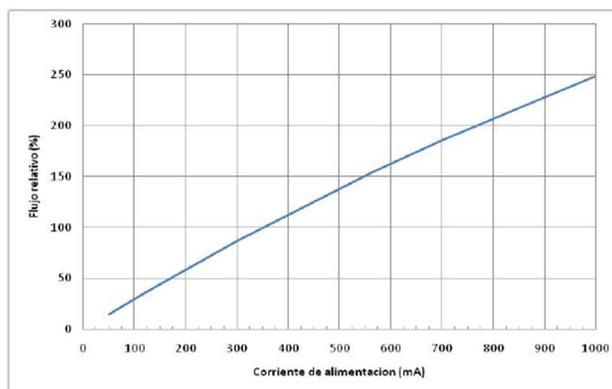


Figura 6. Flujo luminoso relativo de un LED en función de la corriente de alimentación.
(Tomado de [11] página 14)

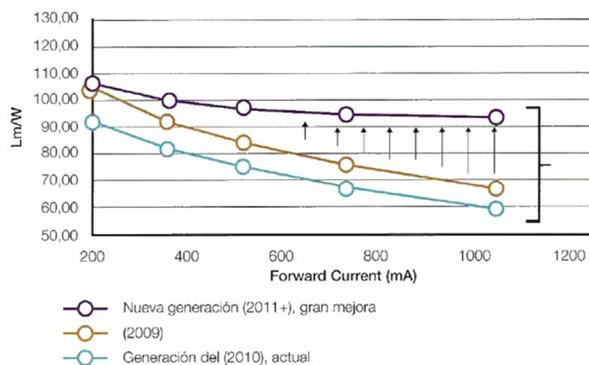


Figura 7. Mejoras en mantener las eficacias a mayores corrientes para LEDs.
(Tomado de [11] página 15)

2.4. Luminarias.

Las luminarias están diseñadas y fabricadas para todos los tipos comunes de lámparas eléctricas. Las luminarias están comúnmente disponibles para estas lámparas:

- Filamento incandescente, que incluye lámparas halógenas de tungsteno e infrarrojos (calefacción)
- Fluorescente.
- Fluorescente compacta.
- Descarga de alta intensidad, incluyendo haluro metálico y sodio a alta presión.
- Diodos emisores de luz (LED).
- Diodos orgánicos emisores de luz (OLED).
- Inducción.

2.4.1. Componentes de control óptico

La mayoría de las lámparas sin estos componentes de control óptico emiten luz en prácticamente cualquier dirección y su aplicación eficiente es producida por los componentes de control de luz en la luminaria para recolectar y distribuir la luz de la lámpara. Normalmente se utilizan cinco dispositivos de control óptico en luminarias: reflector, refractor, difusor, filtros y las rejillas o pantallas.

Las rejillas o pantallas son materiales opacos o translúcidos con forma o configurados para reducir o eliminar la visión directa de la lámpara desde el exterior de la luminaria. Suelen ser translúcidos y están diseñados para difundir la luz de la lámpara y proporcionar cierto control direccional.

Los difusores son elementos de control de luz que dispersan y redirigen la luz incidente en muchas direcciones. Se utilizan para difundir la luz y, dado que la dispersión destruye las imágenes ópticas, oculta el interior de las luminarias, suprime las imágenes de las lámparas y reduce las altas luminancias al aumentar el área sobre la cual la luz abandona una luminaria.

Un reflector es un dispositivo, generalmente de metal o plástico recubierto que exhibe una alta reflectancia, con la función de redirigir por reflexión la luz emitida por una lámpara. El acabado superficial de los reflectores lumínicos generalmente se clasifica como especular, semiespecular, extendido o difuso.

Los refractores son dispositivos de control de la luz que aprovechan el cambio en la dirección de la luz a medida que pasa a través del límite de materiales de diferente densidad óptica, como aire / vidrio o aire / plástico. Un material, generalmente de vidrio o plástico, tiene una forma tal que la luz se reduce a medida que pasa a través de él.

En algunas aplicaciones, es necesario alterar la distribución de energía espectral de la radiación óptica producida por la lámpara antes de que salga de la luminaria, sin alterar necesariamente la distribución espacial de la radiación. Los filtros pueden proporcionar esta alteración.

2.4.2. Clasificación de las luminarias.

La clasificación de las luminarias ayuda a los especificadores y fabricantes a describir, organizar, catalogar y recuperar la información de las luminarias. La naturaleza de la clasificación de luminarias ha cambiado con el avance de la informática.

Las luminarias se pueden clasificar según la aplicación o las características fotométricas.

2.4.2.1. Clasificación por aplicación de las luminarias.

Una forma de clasificación organiza las luminarias por aplicación. Muchas características de las luminarias están determinadas por la aplicación, por lo que esta distinción resulta útil para organizar la información de las luminarias. Las luminarias se clasifican generalmente según estas áreas de aplicación:

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Vial o carretera.
- Deportes
- Proyectores o de proyección.
- De emergencia
- De jardines.
- Aplicaciones especiales y personalizadas “custom”.

Dentro de cada aplicación, las luminarias se pueden clasificar por fuente de luz, montaje y construcción. Los tipos de montaje aplicados a las luminarias serían los siguientes:

- Luminarias de empotrar en cielorrasos o cielos falsos.
- Luminarias tipo plafón (de parche).
- Luminarias para suspender.
- Luminarias de pared o apliques.
- Luminarias para empotrar en piso.
- Luminarias para rieles electrificados “track lighting”.
- Montaje punta poste.
- Montaje en brazo.
- Montaje en horquilla.
- De mesa.

2.4.2.2. Clasificación por características fotométricas de las luminarias.

Otra forma de clasificación utiliza la intensidad luminosa o la distribución de flujo de la luminaria. Para luminarias utilizadas en interiores, se utiliza con frecuencia un método especificado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). Se clasifica a las luminarias según la proporción de salida de luz dirigida hacia arriba y hacia abajo.

Tabla 2. Tipos de Luminarias por Distribución del Flujo Luminoso.

Tipo de luminaria	Hemisferio Superior [%]	Hemisferio Inferior [%]
Directa	0-10	90-100
Semi – directa	10-40	60-90
General difusa	40-60	40-60
Directa - indirecta	40-60	40-60
Semi – indirecta	60-90	10-40
Indirecta	90-100	0-10

(Tomada de [1] página 37)

Iluminación directa: Cuando el porcentaje de la luz emitida en el hemisferio inferior es del 90 - 100% y en el hemisferio superior es del 0 - 10%. Alta eficiencia energética. Posibilita buena uniformidad. La distribución puede variar desde aquellas de haz abierto hasta la de haz estrecho, dependiendo del material reflector, terminación, contorno, apantallamiento y controles ópticos empleados. Puede requerir iluminación suplementaria para mejorar la uniformidad en el plano vertical. En general requiere control óptico para minimizar deslumbramientos (directo y reflejado).

Iluminación semi-directa: Cuando el porcentaje de la luz emitida en el hemisferio inferior está entre 60 – 90% y en el hemisferio superior es de 10 – 40%. Posee menor eficiencia energética que las de iluminación directa. El flujo es emitido hacia abajo y el resto hacia el techo o paredes superiores, suaviza sombras y mejora las relaciones de claridad. No deben

instalarse cerca del cielorraso para evitar áreas de alta luminancia que podrían resultar distractoras, perturbadoras y afectar la estética del ambiente.

Iluminación difusa: Cuando el porcentaje de la luz emitida en el hemisferio inferior está entre 40 – 60% y en el hemisferio superior es de 40 – 60%. Es decir el flujo luminoso es emitido en igual cantidad hacia arriba y hacia abajo. La luz reflejada produce buenas relaciones de claridad y suavizado de sombras. Puede ocasionar deslumbramiento (directo o reflejado), requiere altas reflectancias en las paredes.

Iluminación directa – indirecta: Cuando el porcentaje de la luz emitida en el hemisferio superior es la misma que en el hemisferio inferior entre en 40 – 60%. Características similares que la iluminación difusa pero con una mayor eficiencia energética. Emiten poco flujo en ángulos próximos a la horizontal a lo cual reduce las luminancias en la zona de deslumbramiento.

Iluminación semi – indirecta: Cuando el porcentaje de la luz emitida en el hemisferio inferior es de 10 – 40% y en el hemisferio superior esta entre 60 – 90%. Similar al tipo semi – directo pero con menor eficiencia energética. La baja componente directa reduce las luminancias deslumbrantes. Las superficies del local deben tener una reflectancia considerable sobre todo del cielorraso.

Iluminación indirecta: Cuando el porcentaje de la luz emitida en el hemisferio inferior es de 0 – 10% y en el hemisferio superior es de 90 – 100%. El mayor flujo luminoso es emitido hacia arriba sobre el techo o paredes superiores. Elimina virtualmente las sombras y el deslumbramiento directo y reflejado pero tiene baja eficiencia energética. Las superficies del local deben tener alta reflectancia sobre todo del cielorraso.

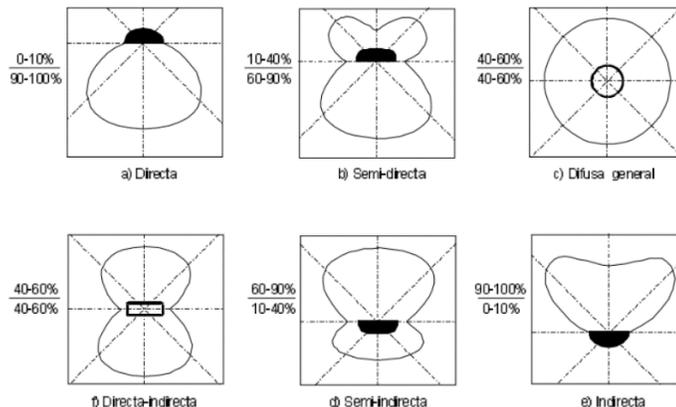


Figura 8. Distribución Luminosa de varios tipos de luminarias.

(Tomado de [1] página 37)

2.4.2.3. Deslumbramiento.

Una manera sencilla de impedir el deslumbramiento evitar que mucha luz incida en el ojo. La medida de este deslumbramiento se mide mediante el UGR Unified Gare Rating (Índice de Deslumbramiento Unificado), creado por la CIE el año 1995, que describe el brillo molesto según la posición del observador con respecto a la dirección de la vista. Otro método para evitar el deslumbramiento es el establecido por la CIE es el empleo de los Diagramas de Söllner, estos diagramas muestran el posible deslumbramiento en la zona crítica, la cual está comprendida por un diedro, cuyos planos forman con la vertical de la luminaria los llamados ángulos críticos de 45° y 85° respectivamente.

En primer lugar se debe determinar el ángulo con el cual un usuario observa las partes desnudas de una luminaria o fuente de luz. Se recomienda que el ángulo sea máximo de 30° . El diagrama establece unas curvas de deslumbramiento según la iluminación del local y la calidad deseada. Según la cantidad de flujo luminoso que queda en la zona, se tienen diferentes rangos de deslumbramiento, siendo las clases de calidad las definidas en la siguiente tabla:

Tabla 3. Índices de deslumbramiento.

Clase de Calidad	Índice de deslumbramiento	Tipo de actividad a desarrollar
A – Muy Alta	1.15	Tareas visuales muy exactas
B – Alta	1.5	Tareas con gran demanda visual o con alta concentración
C – Media	1.85	Tareas con demandas visuales o concentración moderada. Trabajador en movimiento ocasional
D – Baja	2.2	Tareas con demanda visual o concentración baja. Trabajador en movimiento
E – Muy Baja	2.55	Tareas de baja demanda, con movimiento de una zona a otra. Zonas no utilizadas generalmente por las mismas personas

(Tomada de [1] página 40)

El deslumbramiento molesto es común en iluminación de interiores. Una de las principales causas de deslumbramiento es la posición de la fuente de luz con respecto al observador. Se conoce como ángulo crítico el ángulo que forma la dirección visual horizontal con la dirección visual a la fuente luminosa. La fórmula para calcular el índice de deslumbramiento es:

$$\text{UGR} = 8 \log_{10} \left(\frac{0.52}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (2.4.2.3-1)$$

Donde:

L_b : Es la luminancia de fondo en cd/m^2

L : Es la luminancia en cd/m^2 de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del observador.

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

p: Es el índice de posición para cada luminaria individual que se refiere a su desplazamiento de la línea de visión.

2.4.3. Clasificación de protección (IPXX).

Las luminarias de alumbrado general en aulas, oficinas, talleres o laboratorios, no necesitan de un grado de estanqueidad elevado, al tratarse de luminarias abiertas. Solamente las luminarias destinadas a instalaciones específicas, tales como piscinas, en exteriores, o laboratorios en los cuales se desarrollan actividades educativas o de investigación que impliquen condiciones extremas en cuanto a manejo de líquidos o exceso de polvo, exigirán un grado de estanqueidad más alto de lo normal a las luminarias. En este caso se debe considerar la clasificación internacional que regula la protección de las mismas contra la entrada de líquidos o el polvo. Esta normativa es la IEC 60529 la cual establece los siguientes grados de protección:

Tabla 4. Primer Dígito del Código IP (IEC 60529).

Nivel	Tamaño del objeto entrante	Efectivo contra
0	—	Sin protección
1	<50 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 50 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
2	<12.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 12,5 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
3	<2.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 2,5 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
4	<1 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 1 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
5	Protección contra polvo	La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipamiento.
6	Protección completa contra polvo	El polvo no entra bajo ninguna circunstancia.

(Tomado de https://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_protección_IP)

Tabla 5. Segundo Dígito del Código IP (IEC 60529).

Nivel	Protección frente a	Método de prueba	Resultados
0	Sin protección.	Ninguno	El agua entrará en el equipamiento en poco tiempo.
1	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200 mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto)
2	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto). Dicha prueba se realizará cuatro veces a razón de una por cada giro de 15° tanto en sentido vertical como horizontal, partiendo cada vez de la posición normal de trabajo.
3	Agua nebulizada (spray)	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 11 litros por minuto y a una presión de 80-100 kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
4	Chorros de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100 kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
5	Chorros de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30 kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia no menor de 3 metros.
6	Chorros muy potentes de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión de 100 kN/m ² durante no menos de 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
7	Inmersión completa en agua.	El objeto debe soportar, sin filtración alguna, la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.	No debe entrar agua.
8	Inmersión completa y continua en agua.	El equipamiento eléctrico / electrónico debe soportar (sin filtración alguna) la inmersión completa y continua a la profundidad y durante el tiempo que especifique el fabricante del producto con el acuerdo del cliente, pero siempre que resulten condiciones más severas que las especificadas para el valor 7.	No debe entrar agua.
9K	Potentes chorros de agua a alta temperatura	Protegido en contra de chorros de corto alcance a alta presión y de alta temperatura.	Duración del Test: Volumen de agua: 14-16 litros por minuto Presión: [8000-10000 kPa / 80-100 Bar] distancia de 0.1-0.15 m Temperatura del agua: 80 °C

(Tomado de https://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_protección_IP)

Para exteriores o condiciones de interiores en las cuales las luminarias van a estar expuestas al agua o en ambientes con suciedad extrema se recomienda una especificación del grado IP65.

2.4.4. Grado de Protección contra choques mecánicos (IKXX).

Las luminarias deben tener el grado de protección adecuado en función de los posibles impactos que reciban y que deben soportar sin deterioro. La determinación del grado de protección se realiza en función de la ubicación de la luminaria, y de los daños que se puedan causar. Hay que considerar la posibilidad tanto de daños accidentales que se producen de forma fortuita como de daños ocasionados de forma voluntaria por vandalismo. Para tal fin se debe recurrir a la normativa IEC 62262. Esta consiste en una codificación que indica el grado de protección proporcionado por la carcasa y/o el difusor de la luminaria contra los impactos mecánicos nocivos, salvaguardando así los materiales o equipos en su interior. Se

establecen los siguientes grados de protección en función de la energía de impacto en Julios:

Tabla 6. Sistema de codificación IK (IEC 62262).

Código IK	Código IK y energía de impacto										
	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Energía de impacto (Julio)	*	0.15	0.20	0.35	0.50	0.70	1	2	5	10	20

(Tomado de https://es.wikipedia.org/wiki/EN_62262)

Como regla general, aquellos recintos en los que se pueden producir impactos de tipo accidental, tales como laboratorios, talleres, gimnasios, etc., deberán tener un grado de protección mínimo de IK07, siendo de IK10 para aquellas luminarias que deben ser resistentes al vandalismo.

2.5. El Proceso de diseño en Iluminación.

El buen diseño de iluminación comienza con la identificación y resolución de funciones visuales y problemas orientados a tareas. Contrariamente a la visión de algunos en los campos del diseño, el diseño de iluminación no es solo un arte. Un buen diseño de iluminación puede e idealmente debe ser ingenioso, de la misma manera que los procesos de diseño de todo el mundo involucran pensamiento creativo y soluciones. Los diseñadores de iluminación experimentados aportan su riqueza de fondo para mejorar con éxito el ambiente y el carácter espacial de una habitación.

2.5.1. Pasos secuenciales para soluciones de diseño de iluminación exitosas.

Antes de comenzar un diseño de iluminación, generalmente es una buena idea revisar y escribir los criterios a los que se aplica el diseño. Estos criterios deben incluir todo lo que se espera del diseño, tanto objetivo como subjetivo. Los siguientes pasos abordan los criterios básicos de iluminación para cumplir en un diseño profesional:

Paso 1: Describa.

Antes de determinar las necesidades específicas de diseño de iluminación de un proyecto, es importante tener en cuenta la apariencia general del espacio junto con la arquitectura dada.

Concepto de diseño

La iluminación debe ser integral al diseño del espacio y no debe parecer una idea de último momento. Debido a esto, el primer paso para desarrollar los criterios para el diseño de iluminación es revisar el concepto de diseño general del espacio y / o proyecto. Dentro de esta revisión, también es importante reconocer la sensación ambiental y el ambiente que se desea. La mayoría de las habitaciones y los espacios tienen un ambiente deseado, como una sala de estar que debe ser cálida y acogedora, una oficina ejecutiva que expresa competencia y éxito, un entorno de atención médica que demuestre eficiencia y profesionalidad, y un lobby de hotel de alta gama que representa el lujo. El ambiente deseado suele ser una amalgama de los deseos del cliente o del usuario y la visión del espacio del diseñador. Traducir ese ambiente deseado en términos de diseño de iluminación es fundamental para las soluciones de iluminación exitosas.

Este paso debe incluir describir la apariencia general de la luz y el efecto psicológico que tendrá en los usuarios. Esta evaluación preliminar asegurará que las futuras opciones de iluminación ayudarán a reforzar las decisiones programáticas tempranas. De manera ideal, esta evaluación debe ocurrir durante las etapas iniciales del proceso de diseño.

Calidad de luz

Además, este es un buen momento para considerar más detalles sobre la calidad de la iluminación. Aquí, los "detalles" no se refieren a la selección de una fuente de luz o un accesorio, sino a pensar en lo que debería lograr la iluminación en un espacio y reconocer lo que es más importante al principio. A continuación se presenta una lista de elementos que deben considerarse.

- Calidad y apariencia del color. ¿Cuál debe ser la temperatura de color y la reproducción del color?
- Intensidad de la luz. ¿Es el espacio generalmente un ambiente oscuro o brillante?
- Uniformidad. ¿La iluminación debe ser de alto o bajo contraste?
- Control y flexibilidad. ¿Existen usos múltiples para el espacio que tienen diferentes requisitos de iluminación?
- Eficiencia. ¿Tiene el cliente metas energéticas específicas que deben ser consideradas?

Condiciones arquitectónicas y restricciones

Finalmente, dentro del Paso 1, es importante comprender las condiciones arquitectónicas y las posibles limitaciones que influirán y potencialmente limitarán muchas de las decisiones que siguen. Las dos condiciones que afectan el diseño de la iluminación con mayor frecuencia son el tamaño y la ubicación de las ventanas y la disponibilidad de espacio de "plenun". Es frecuente que el sistema estructural y/o sus materiales, alturas de techos, construcción y/o materiales, sistemas de techos y sus materiales, y materiales de acabado tengan una influencia significativa en las soluciones de iluminación.

Paso 2: Capas

El siguiente paso es evaluar las capas de iluminación. Este registro puede ser una referencia a medida que el diseño se desarrolla para asegurarse de que no se pase por alto nada.

Paso 3: Seleccione

Una vez que se completan los Pasos 1 y 2, el diseñador tiene suficiente información de fondo para comenzar a seleccionar las fuentes de luz y las luminarias que cumplan con los criterios establecidos.

Paso 4: Coordinar.

En este paso final, el diseñador reúne todos los criterios de diseño establecidos en los pasos anteriores y coordina esos elementos con el equipo para garantizar que la iluminación esté diseñada e instalada para cumplir con todos los códigos aplicables y, en última instancia, las necesidades y expectativas de los clientes.

Cantidad de iluminación

Establecer los niveles de iluminación adecuados para los espacios. Una vez que se seleccionan los estilos de accesorios y se determina el nivel de iluminación requerido, el siguiente paso es desarrollar una ubicación precisa de las luminarias. Durante esta etapa se puede recurrir a un programa de informática especializado en diseño de iluminación. A menudo, se consideran varias combinaciones de luminarias y lámparas, por lo que el número de luminarias variará con la salida de luz de cada combinación. En la gran mayoría de los casos en que las luminarias se colocan o suspenden del techo, deben colocarse en un patrón ordenado, creando una geometría visual obvia. Ocasionalmente, en el caso de espacios de forma irregular o la colocación de muebles sesgados, es apropiado un patrón de techo de forma libre o no geométrica. Para algunas situaciones genéricas, como aulas, salas de entrenamiento y grandes espacios de oficina, las fórmulas de la regla del pulgar para el espaciado de las luminarias estándar producen niveles comúnmente aceptados de iluminación general para la función de sala deseada. Para la mayoría de las situaciones, se debe considerar cada problema de diseño de iluminación como un caso individual y debe desarrollarse soluciones específicas.

Necesidades de control

Este paso en el proceso de diseño de iluminación es principalmente de lógica y sentido común. Las rutas de tráfico del usuario, el uso de la sala y la comodidad del usuario deben ser

guías para los buenos sistemas de control. La experiencia repetida y la familiaridad con la tecnología de controles crean soluciones viables y satisfactorias para el usuario. Se debe tener en cuenta las oportunidades que brindan los desarrollos más recientes en controles que automatizan las funciones de administración de energía o conveniencia para el usuario.

Requisitos del Código eléctrico.

Finalmente, se debe garantizar que la iluminación cumpla con todos los requisitos de seguridad, accesibilidad y energía, de acuerdo a lo establecido en el código eléctrico vigente.

2.5.2. Formas de Iluminar un laboratorio.

Los laboratorios no solo están presentes en las escuelas. También en compañías farmacéuticas de alta tecnología. Los organismos gubernamentales de investigación y estándares comerciales los tienen, al igual que las cadenas de supermercados y los productores de alimentos. Por supuesto, las industrias química y del plástico están llenas de ellos. Esto incluye a la industria de iluminación misma. Como consecuencia, no todos los laboratorios están iluminados de la misma forma. En diseño de iluminación, primero se debe preguntar por las actividades visuales que se desarrollan dentro de ellos. ¿Cuáles son sus requisitos específicos?.

En un laboratorio, en muchas situaciones es importante preguntarse por la reproducción del color y si la iluminación debería revelar imperfecciones en las superficies o grados de turbidez en los líquidos. ¿El personal necesita ver divisiones finas en un termómetro o pipeta? ¿Las luminarias deben estar totalmente selladas y ser fáciles de limpiar? ¿Hay humos corrosivos?.

Obviamente, también debe considerar los aspectos más generales de la iluminación como el deslumbramiento y la iluminancia horizontal. Muy a menudo, el personal realizará tareas de

oficina en el mismo espacio. Difícilmente hay un laboratorio que no tenga pantallas de computadora. Para obtener una guía general, debe consultar la normativa de iluminación, para eso se ha incluido en este trabajo una sección de marco normativo (Sección 2.8).

a. “Técnica downlighting” con luminarias empotradas.

Este es un esquema bastante convencional con una luminaria lineal de superficie con montaje empotrado en cielo de Gypsum o en cielo falso como capa de iluminación general. La alineación de las luminarias es paralela a la línea de visión, por lo que el esquema es menos deslumbrante que un diseño transversal donde se ven de lado.

A favor: Esquema Económico y eficiente.

En contra: No es tan bueno en condiciones con un cielo raso alto. Sin embargo, esta situación se podría revertir con luminarias con montaje suspendido.



Figura 9. "Esquema downlighting" con luminarias empotradas (Iluminación de laboratorios).

(Tomada de [16])

b. “Técnica downlighting” con luminarias semi empotradas o de parche.

En esta configuración la luminaria está semi-empotrada o de parche. Esta configuración se emplea en situaciones en las cuales no se dispone de un cielo falso o de Gypsum y se tiene la losa de concreto expuesta. En algunos casos las luminarias poseen componentes ópticos que dirigen la luz directamente hacia abajo a través de lamas y una pantalla perforada y también indirectamente desde la cara superior curva. La configuración de iluminación directa / indirecta y varias superficies reflectantes internas reducen la eficiencia general del esquema en comparación con las otras opciones. Sin embargo, el efecto es de una luminaria de muy poco deslumbramiento que proporciona una buena iluminación en superficies horizontales y verticales. Puede ser más difícil de limpiar, pero hay poca acumulación de polvo en un laboratorio, por lo que puede que no sea un problema importante.

A favor: Poco deslumbramiento.

En contra: Menos eficiente.



Figura 10. "Esquema downlighting" con luminarias de parche o semi empotradas (Iluminación de laboratorios).

(Tomada de [16])

- c. **“Técnica downlighting” con luminarias de montaje sobre mueble como iluminación de tarea.**

Este diseño y sus variaciones son bastante comunes. En esencia, las luminarias están integradas en la estructura de la estantería del laboratorio. Suelen utilizar luminarias directas / indirectas para minimizar la profundidad. Estos esquemas requieren un cuidado especial porque debe considerar la altura de la luminaria y las líneas de visión en relación con el personal, que puede estar de pie durante una gran parte del tiempo.

La gran ventaja es que casi todo el esquema podría considerarse iluminación local o capa de tarea. Hay mucha luz justo donde se necesita.

Este esquema se puede combinar con otra capa de iluminación general basada en las técnicas anteriores.

A favor: discreto, ordenado, la luz se dirige en donde se realiza la tarea. Apta para condiciones en las que se trabaja con componentes muy pequeños o situaciones en donde se requieren niveles de iluminación altos (superiores a lo recomendado como iluminación general en un laboratorio).

Contras: Deslumbramiento.



Figura 11. "Esquema downlighting" con luminarias sobre mueble (Iluminación de laboratorios).

(Tomada de [16])

Este esquema también podría considerarse válido utilizarlo con iluminación general bajo la técnica del “uplighting” con luminarias suspendidas indirectas lo cual genera una iluminación agradable y con bajo deslumbramiento.

A continuación se muestra algunos otros esquemas válidos para este tipo de espacios:



Figura 12. Técnica iluminación Laboratorio Luminaria Directa - Indirecta
(Tomada de [16] Página 3)

En la figura N°12 se puede apreciar un esquema de iluminación por capa de tarea con una luminaria suspendida, directa – Indirecta sobre el área de trabajo. Adicionalmente se tiene una capa de iluminación general del laboratorio con luminarias empotradas.

La siguiente figura muestra una iluminación de tarea con luminarias suspendidas sobre el área de trabajo. En esta situación no se dispone de un cielo raso de ahí la selección del tipo de montaje de la luminaria.



Figura 13. Técnica iluminación Laboratorio Luminaria Directa - Indirecta como capa tarea
(Tomada de [16] Página 3)



Figura 14. Técnica iluminación Laboratorio Luminaria Directa - Indirecta como capa tarea
(Tomada de [16] Página 4)

En la figura N°14 se puede apreciar un esquema de iluminación por capa de tarea con una luminaria suspendida, directa – Indirecta sobre el área de trabajo. La distribución indirecta

contribuya al nivel de iluminación de la capa de iluminación general del laboratorio la cual es suplida también con luminarias empotradas.

2.6. Metodología de medición de la iluminación en espacios de interiores.

La siguiente metodología se utilizará para determinar la cantidad y ubicación de los puntos de medición. Esto será de suma importancia para verificar el desempeño del sistema de iluminación. Se basa en la norma oficial Mexicana NOM-025-STPS, (2008) [14].

De previo a la realización de las mediciones se debe efectuar un reconocimiento cuyo propósito es identificar aquellas áreas del centro de trabajo y las tareas visuales asociadas a los puestos de trabajo, asimismo, identificar aquéllas donde exista una iluminación deficiente o exceso de iluminación que provoque deslumbramiento.

Para lo anterior, se debe realizar un recorrido por todas las áreas del centro de trabajo donde los trabajadores realizan sus tareas visuales, y considerar, en su caso, los reportes de los trabajadores, así como recabar la información técnica.

Para determinar las áreas y tareas visuales de los puestos de trabajo debe recabarse y registrarse la información del reconocimiento de las condiciones de iluminación de las áreas de trabajo, así como de las áreas donde exista una iluminación deficiente o se presente deslumbramiento y, posteriormente, conforme se modifiquen las características de las luminarias o las condiciones de iluminación del área de trabajo, con los datos siguientes:

- a) Distribución de las áreas de trabajo, del sistema de iluminación (número y distribución de luminarias), de la maquinaria y del equipo de trabajo;
- b) Potencia de las lámparas;
- c) Descripción del área iluminada: colores y tipo de superficies del local o edificio;

- d) Descripción de las tareas visuales y de las áreas de trabajo.
- e) Descripción de los puestos de trabajo que requieren iluminación localizada, y
- f) La información sobre la percepción de las condiciones de iluminación por parte de los trabajadores.

Luego se debe determinar el factor de reflexión en el plano de trabajo y paredes que por su cercanía al trabajador afecten las condiciones de iluminación y compararlo contra los niveles máximos permisibles del factor de reflexión por parte de la norma.

La evaluación de los niveles de iluminación debe realizarse en una jornada laboral bajo condiciones normales de operación, se puede hacer por áreas de trabajo, puestos de trabajo o una combinación de los mismos.

Cuando se utilice iluminación artificial, antes de realizar las mediciones, se debe de cumplir con lo siguiente:

- a) Encender las lámparas con antelación, permitiendo que el flujo de luz se estabilice; si se utilizan lámparas de descarga, incluyendo lámparas fluorescentes, se debe esperar un periodo de una hora antes de iniciar las lecturas. Cuando las lámparas fluorescentes se encuentren montadas en luminarias cerradas, el periodo de estabilización puede ser mayor; para el caso de fuentes de luz basadas en la tecnología LED el periodo de espera es de 15 minutos.
- b) En instalaciones nuevas con lámparas de descarga o fluorescentes, se debe esperar un periodo de 100 horas de operación antes de realizar la medición (periodo de maduración de la fuente de luz). Para LEDs este periodo es de 20 horas, y
- c) Los sistemas de ventilación deben operar normalmente, debido a que la iluminación de las lámparas de descarga y fluorescentes presentan fluctuaciones por los cambios de temperatura.

Cuando se utilice exclusivamente iluminación natural, se debe realizar al menos las mediciones en cada área o puesto de trabajo de acuerdo con lo siguiente:

- a) Cuando no influye la luz natural en la instalación ni el régimen de trabajo de la instalación, se deberá efectuar una medición en horario indistinto en cada puesto o zona determinada, independientemente de los horarios de trabajo en el sitio;
- b) Cuando sí influye la luz natural en la instalación, el turno en horario diurno (sin periodo de oscuridad en el turno o turnos) y turnos en horario diurno y nocturnos (con periodo de oscuridad en el turno o turnos), deberán efectuarse 3 mediciones en cada punto o zona determinada distribuidas en un turno de trabajo que pueda presentar las condiciones críticas de iluminación de acuerdo a lo siguiente:
 - o Una lectura tomada aproximadamente en la primera hora del turno;
 - o Una lectura tomada aproximadamente a la mitad del turno, y
 - o Una lectura tomada aproximadamente en la última hora del turno.
- c) Cuando sí influye la luz natural en la instalación y se presentan condiciones críticas, efectuar una medición en cada punto o zona determinada en el horario que presente tales condiciones críticas de iluminación.

Las áreas de trabajo se deben dividir en zonas del mismo tamaño, de acuerdo a lo establecido en la columna A (número mínimo de zonas a evaluar) de la Tabla N°7, y realizar la medición en el lugar donde haya mayor concentración de trabajadores o en el centro geométrico de cada una de estas zonas; en caso de que los puntos de medición coincidan con los puntos focales de las luminarias, se debe considerar el número de zonas de evaluación de acuerdo a lo establecido en la columna B (número mínimo de zonas a considerar por la limitación) de la Tabla N°7. En caso de coincidir nuevamente el centro geométrico de cada zona de evaluación con la ubicación del punto focal de la luminaria, se debe mantener el número de zonas previamente definido.

Tabla 7. Relación entre el Índice de Área y el número de Zonas de Medición.

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

(Tomada de [14] Apéndice A)

El valor del índice de área, para establecer el número de zonas a evaluar, está dado por la ecuación siguiente:

$$IC = \frac{(x)(y)}{h(x+y)} \quad (2.6-1)$$

Donde:

IC = índice del área.

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

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

En pasillos o escaleras, el plano de trabajo por evaluar debe ser un plano horizontal a 75 cm \pm 10 cm, sobre el nivel del piso, realizando mediciones en los puntos medios entre luminarias contiguas.

En el puesto de trabajo se debe realizar al menos una medición en cada plano de trabajo, colocando el luxómetro tan cerca como sea posible del plano de trabajo y tomando precauciones para no proyectar sombras ni reflejar luz adicional sobre el luxómetro.

2.7. Controles de Iluminación.

En la mayoría de los casos, los controles de iluminación ofrecen beneficios positivos tanto al entorno que los rodean como a los ocupantes del mismo. Hay cuatro razones por las que emplear controles de iluminación:

- a. Para ahorro potencial de energía (e.j. sensor de ocupación, aprovechamiento de la luz del día, temporizador, respuesta a demanda).
- b. Para mejorar la satisfacción del usuario, su estado de ánimo y de su rendimiento (e.j. control personal, control del deslumbramiento de la luz del día, control a demanda del usuario, eficiencia algorítmica de la iluminación).
- c. Como refuerzo a la apariencia de la construcción, ambiente y a la imagen de la empresa (e.j. marco de la escena).
- d. Para aumento de la seguridad (e.j., cuando el sistema de control de iluminación ofrece una iluminación de emergencia, o la iluminación evita sensaciones de peligro o incertidumbre, como por ejemplo a través de sensor de ocupación).

Los principios básicos de un sistema de control de iluminación por lo tanto serían:

1. Controlar el Tiempo de Operación. Los usuarios controlan el tiempo de funcionamiento de las luces para mayor comodidad y para ahorrar energía. Al apagar las luces, los usuarios ahorran tanto el costo de la electricidad como la vida útil de la lámpara.
2. Controlar la potencia consumida. La mayoría de las fuentes de luz funcionan incluso si se reduce su potencia. Esta reducción de potencia da como resultado una fuente que es menos brillante de lo normal, lo que se denomina "atenuación". La atenuación generalmente se utiliza para crear un ambiente distinto, como en un comedor o restaurante. Pero hoy en día, la atenuación se utiliza con más frecuencia para ahorrar energía. En muchos espacios, las ventanas introducen suficiente luz para permitir que las luces interiores se atenúen. La combinación de la luz del día y la luz eléctrica

artificial reducida aún proporciona una iluminación adecuada para las tareas que se realizan dentro del espacio.

En general, se debe considerar una zona de control separada para cada capa de luz, ya que cada capa tiene una función específica en el espacio. También es importante separar diferentes tipos de lámparas. Por ejemplo, una sala de conferencias puede tener un colgante fluorescente lineal sobre la mesa, con bañadores de pared con diodo emisor de luz (LED) que iluminan las paredes. Las lámparas fluorescentes y los balastros requieren un tipo diferente de atenuador de los LED, por lo que se requieren reguladores separados.

El PWM es un método más común para regular un LED. Sus siglas “Pulse Width Modulation” nos hacen entender que lo que está pasando en el semiconductor es una modulación de ancho de pulso, esto quiere decir que el LED está siendo encendido y apagado de manera tan rápida que es imperceptible para el ojo, pero los momentos que está apagado es lo que nosotros percibimos como un nivel inferior de intensidad.

Entender cómo de manera interna regula un LED nos hace valorar por qué es tan importante la buena calidad de dicha electrónica de control. El buen control de un LED es solo el principio de un gran número de variables al gestionar la iluminación. Como bien sabemos ahora entre el LED y la actuación humana siempre hay un “driver” o una electrónica en el propio circuito de la luminaria que permite dicha regulación, esta electrónica es capaz de recibir distintos protocolos según su aplicación.

2.8. Marco Normativo.

Desde un punto de vista normativo el área de los laboratorios está clasificado como espacio de trabajo en interiores en las normativas europeas. La norma europea relacionada con áreas de trabajo en interiores sería la EN 12464-1: “Lighting for work places – Indoor work places”. Para el caso de España sería la UNE-EN 12464-1:2012 “Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores”.

Para el caso de la Norma de los Estados Unidos se tiene la norma ANSI específicamente para facilidades educaciones denominada: ANSI RP-3-20: “American Standard Practice on Lighting for Educational Facilities” del año 2020.

Como norma nacional se tiene la INTE/ISO 8995-1:2016 [8]. La siguiente tabla N°8 resume los niveles recomendados de iluminancia para espacios relacionados con las facilidades educativas:

Tabla 8. Niveles de Iluminancia promedio para espacios educacionales.

Tipo de interior, tarea o actividad	Iluminancia E (lux)	UGR	IRC (%)	Observaciones
28. EDIFICIOS EDUCACIONALES				
Local de juegos (escuela)	300	19	80	
Aula de preescolares	300	19	80	
Aula de manualidades preescolares	300	19	80	
Aulas de clases y de tutorías	300	19	80	
Aulas para clases nocturnas y de educación de adultos	500	19	80	
Salas de lectura	500	19	80	
Pizarras	500	19	80	
Mesa de demostraciones	500	19	80	
Locales de artes y manualidades	500	19	80	
Locales de artes (en escuelas de arte)	750	19	90	
Salas de dibujo técnico	750	16	80	
Salas de prácticas y laboratorios	500	19	80	
Taller de enseñanza	500	19	80	
Locales de prácticas de música	300	19	80	
Locales de prácticas de computación	500	19	80	
Laboratorio de idiomas	300	19	80	
Locales y talleres de preparación	500	22	80	
Locales comunes de estudiantes y salas de	200	22	80	

reuniones				
Salas de maestros	300	22	80	
Salas deportivas, gimnasios y piscinas	300	22	80	Para instalaciones de acceso público, ver CIE 58-1 983 y CIE 62-1984

(Tomada de [8] páginas 26 y 27)

De esta tabla se puede ver que específicamente para los laboratorios el nivel de iluminancia recomendado es de 500 lux como iluminación general. El valor de la iluminancia media en un espacio determinado no basta para determinar la calidad de la iluminación sobre este, ya que la luz puede estar mal distribuida a lo largo de todo el local y esto podría tener consecuencias no deseadas para los usuarios de los laboratorios como dolores de cabeza o migraña por ejemplo. A tal efecto se define otra variable a evaluar denominada la uniformidad de iluminancias media, U_m , como:

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_m} \quad (2.8-1)$$

Siendo,

E_{min} : iluminancia mínima sobre la superficie.

E_m : iluminancia media sobre la superficie.

La norma INTE/ISO 8995 establece que las uniformidades deben cumplir con lo establecido en el apartado 4.3.4 (Uniformidades) el cual establece que la uniformidad de la iluminancia de la tarea no debe ser menor de 0,7. La uniformidad de la iluminancia de las áreas circundantes inmediatas no debe ser menor de 0,5. El término área circundante inmediata se define en la norma como la zona de al menos 0,5 m de ancho que circunda el área de la tarea dentro del campo visual.

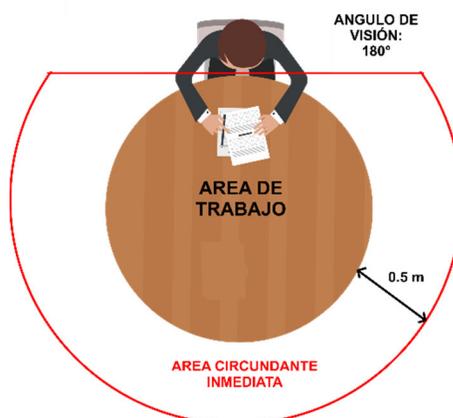


Figura 15. Definición del área circundante inmediata según la norma INTE/ISO 8995 2016: Parte 1.
(Confección propia)

Los valores de iluminancia media del área circundante inmediata están relacionados con los correspondientes al área de trabajo de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 9. Niveles de Iluminancia promedio en los entornos inmediatos con respecto a los niveles del área de tarea.

Iluminancia de la tarea lux	Iluminancia de los entornos inmediatos lux
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Igual a la iluminancia de la tarea

(Tomada de [8] páginas 11)

En base a la tabla anterior el valor de iluminancia promedio para los entornos inmediatos en el caso de laboratorios sería de 300 lux.

En lo que respecta al deslumbramiento, la norma especifica que el valor máximo del Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR) debe ser de 19 para el caso de laboratorios. Esto debe ser verificado al momento de hacer la simulación en el software DIALUX.

3. Diagnóstico del estado actual de la Iluminación en los laboratorios.

3.1. Datos del local.

Se logró conseguir los archivos en CAD de los laboratorios considerados en el presente trabajo, a saber, el Laboratorio 1-10 (Prácticas Experimentales y Desarrollo de Proyectos de Graduación en: Optoelectrónica, Comunicaciones Ópticas, Radiometría y Mediciones de Láser) y el Laboratorio 1-11 (Investigación y Desarrollo en: Radiometría, Fotometría y Metrología en Parámetros Ópticos) de la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Seguidamente se presenta la imagen del CAD con los dos laboratorios en el cual se muestra la ubicación actual de las luminarias.

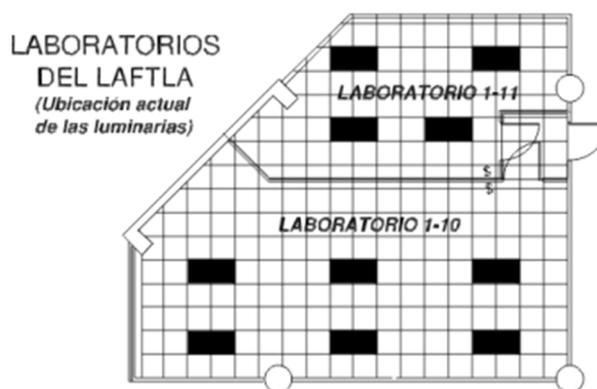


Figura 16. CAD de los dos laboratorios del LAFTLA.
(Confección propia)

Los laboratorios están contruidos con paredes de concreto pintadas de color negro, esto debido a la naturaleza de los mismos, ya que están destinados a estudios en las áreas de la radiometría y los láseres. El cielo raso es del tipo cielo suspendido y los pisos son de cerámica de color gris claro. Cabe mencionar que ambos laboratorios carecen de iluminación natural.



Figura 17. Fotografía del Laboratorio Laboratorio 1-10 (LAFTLA).
(Confeción propia)



Figura 18. Fotografía del Laboratorio Laboratorio 1-11 (LAFTLA).
(Confeción propia)

Se utilizó un medidor láser de distancias para verificar las dimensiones de todas las paredes de los laboratorios así como de las alturas del cielo raso. El dispositivo utiliza una aplica-

ción para celular, la cual se habilitó para generar un reporte completo de las mediciones. Las especificaciones del instrumento son las siguientes:

	<p>Equipo: Medidor de Distancia LASER.</p> <p>Marca: Leica Geosystems</p> <p>Modelo: DISTO X4-1</p> <p>Serie: 1681650862</p> <p>Características:</p>																																					
	<p>Especificaciones técnicas Leica Disto X4</p> <table border="1"> <tr> <td>Tolerancia de medición de distancia típica (con certificación ISO 16331-1)</td> <td>± 1,0 mm</td> </tr> <tr> <td>Alcance (con certificación ISO 16331-1)</td> <td>De 0,05 hasta 150 m</td> </tr> <tr> <td>Unidades de medición</td> <td>m, ft, in</td> </tr> <tr> <td>Tecnología X-Range Power</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Sensor de inclinación</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Precisión del sensor de inclinación en la carcasa</td> <td>± 0,2°</td> </tr> <tr> <td>Alcance de medición de Smart Base Horizontal Vertical</td> <td>360° para el uso con Leica DST 360 -64° a > 90° para el uso con Leica DST 360</td> </tr> <tr> <td>Tolerancia típica de la función P2P para el uso con Leica DST 360</td> <td>± 2 mm a 2 m, 5 mm a 5 m, 10 mm a 10 m</td> </tr> <tr> <td>Rango de nivelación</td> <td>5° para el uso con Leica DST 360</td> </tr> <tr> <td>Visor con zoom</td> <td>4x</td> </tr> <tr> <td>Memoria de la última medición</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Software gratuito para Windows</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Aplicación gratuita para iOS y Android</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Compatibilidad con la función Smart Room</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Interfaz general de datos</td> <td>Bluetooth® Smart</td> </tr> <tr> <td>Interfaz de datos para datos de puntos 3D</td> <td>Bluetooth® Smart</td> </tr> <tr> <td>Mediciones por juego de baterías</td> <td>hasta 4000 (se reduce cuando se usa con Bluetooth®)</td> </tr> <tr> <td>Vida útil de las baterías</td> <td>hasta 8 h (se reduce cuando se usa con Bluetooth®)</td> </tr> <tr> <td>Extremo multifunción con detección automática de referencia</td> <td>Sí</td> </tr> </table>	Tolerancia de medición de distancia típica (con certificación ISO 16331-1)	± 1,0 mm	Alcance (con certificación ISO 16331-1)	De 0,05 hasta 150 m	Unidades de medición	m, ft, in	Tecnología X-Range Power	Sí	Sensor de inclinación	Sí	Precisión del sensor de inclinación en la carcasa	± 0,2°	Alcance de medición de Smart Base Horizontal Vertical	360° para el uso con Leica DST 360 -64° a > 90° para el uso con Leica DST 360	Tolerancia típica de la función P2P para el uso con Leica DST 360	± 2 mm a 2 m, 5 mm a 5 m, 10 mm a 10 m	Rango de nivelación	5° para el uso con Leica DST 360	Visor con zoom	4x	Memoria de la última medición	20	Software gratuito para Windows	Sí	Aplicación gratuita para iOS y Android	Sí	Compatibilidad con la función Smart Room	Sí	Interfaz general de datos	Bluetooth® Smart	Interfaz de datos para datos de puntos 3D	Bluetooth® Smart	Mediciones por juego de baterías	hasta 4000 (se reduce cuando se usa con Bluetooth®)	Vida útil de las baterías	hasta 8 h (se reduce cuando se usa con Bluetooth®)	Extremo multifunción con detección automática de referencia
Tolerancia de medición de distancia típica (con certificación ISO 16331-1)	± 1,0 mm																																					
Alcance (con certificación ISO 16331-1)	De 0,05 hasta 150 m																																					
Unidades de medición	m, ft, in																																					
Tecnología X-Range Power	Sí																																					
Sensor de inclinación	Sí																																					
Precisión del sensor de inclinación en la carcasa	± 0,2°																																					
Alcance de medición de Smart Base Horizontal Vertical	360° para el uso con Leica DST 360 -64° a > 90° para el uso con Leica DST 360																																					
Tolerancia típica de la función P2P para el uso con Leica DST 360	± 2 mm a 2 m, 5 mm a 5 m, 10 mm a 10 m																																					
Rango de nivelación	5° para el uso con Leica DST 360																																					
Visor con zoom	4x																																					
Memoria de la última medición	20																																					
Software gratuito para Windows	Sí																																					
Aplicación gratuita para iOS y Android	Sí																																					
Compatibilidad con la función Smart Room	Sí																																					
Interfaz general de datos	Bluetooth® Smart																																					
Interfaz de datos para datos de puntos 3D	Bluetooth® Smart																																					
Mediciones por juego de baterías	hasta 4000 (se reduce cuando se usa con Bluetooth®)																																					
Vida útil de las baterías	hasta 8 h (se reduce cuando se usa con Bluetooth®)																																					
Extremo multifunción con detección automática de referencia	Sí																																					

Dicho medidor se monta en una base inteligente con la siguiente especificación:

<p>Equipo: Base inteligente para Medidor de Distancia LASER.</p> <p>Marca: Leica Geosystems</p> <p>Modelo: DISTO DST360</p> <p>Serie: 1824550096</p>
--

	Características:																				
	Especificaciones Leica DST 360 <table border="1"> <tr> <td>Medición de punto a punto</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Medición nivelada de punto a punto</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Smart Area Measurement</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Medir plano</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Medir fachada</td> <td>Sí</td> </tr> <tr> <td>Exportar a CAD</td> <td>Opcional</td> </tr> <tr> <td>N.º de artículo Trípode incluido</td> <td>848783</td> </tr> <tr> <td>EAN/UPC trípode incluido</td> <td>7640110697979</td> </tr> <tr> <td>N.º de artículo</td> <td>864982</td> </tr> <tr> <td>EAN/UPC</td> <td>7640110697986</td> </tr> </table>		Medición de punto a punto	Sí	Medición nivelada de punto a punto	Sí	Smart Area Measurement	Sí	Medir plano	Sí	Medir fachada	Sí	Exportar a CAD	Opcional	N.º de artículo Trípode incluido	848783	EAN/UPC trípode incluido	7640110697979	N.º de artículo	864982	EAN/UPC
Medición de punto a punto	Sí																				
Medición nivelada de punto a punto	Sí																				
Smart Area Measurement	Sí																				
Medir plano	Sí																				
Medir fachada	Sí																				
Exportar a CAD	Opcional																				
N.º de artículo Trípode incluido	848783																				
EAN/UPC trípode incluido	7640110697979																				
N.º de artículo	864982																				
EAN/UPC	7640110697986																				

Los certificados de calibración tanto del instrumento como de la base inteligente se muestran en el **Anexo A**.

Los reportes generados por el instrumento con la ayuda de la aplicación para celular se adjuntan en el **Anexo B**. De los reportes se extrae los siguientes datos de interés para efectos de la simulación en el software DIALUX:

Tabla 10. Lecturas de superficie y altura de cielo raso para los laboratorios.

Laboratorio	Superficie (m ²)	Altura del cielo raso (m)
Laboratorio 1-10	54.923	2.730
Laboratorio 1-11	26.807	2.676

(Confección propia)



Figura 19. Montaje del medidor de distancia Láser LEICA DISTO X4.
(Confección propia)

Reflectancia de las superficies de los laboratorios:

- Cielo falso: Acabado color gris claro; reflectancia 0.70.
- Paredes de color negro; reflectancia 0.032.
- Suelo: cerámica gris claro; reflectancia 0.55.
- Mobiliario: acabados variables; reflectancia VARIOS (Ver reporte de mediciones, Tablas 15 y 16)

3.2. Luminarias instaladas.

Los laboratorios cuentan actualmente con luminarias de la marca Sylvania modelo 507 de 4 tubos fluorescentes T8 de 32 watts. Se presenta el detalle de los principales datos técnicos de la luminaria:

Tabla 11. Resumen de datos técnicos de las luminarias instaladas en los laboratorios.

Marca:	Sylvania
Modelo:	507
Cantidad de tubos / Luminaria:	4
Fuente de luz:	Fluorescente lineal T8 de 32 W
Tipo de Difusor:	Parabólico PL5 plateado.
Potencia de entrada (W)	106.0
Flujo luminoso (Lm)	10 800

(Tomada del catálogo: “Luminarias Fluorescentes 2014-2015” Sylvania página 38)



Figura 20. Fotografía de las luminarias existentes en los laboratorios LAFTLA.
(Confección propia)

A continuación se presenta la cantidad de luminarias por laboratorio:

Tabla 12. Cantidad de luminarias instaladas por laboratorio.

Laboratorio	Cantidad de Luminarias	Potencia instalada (W)
Laboratorio 1-10	6	636.0
Laboratorio 1-11	4	424.0

(Confección propia)

Se adjunta en el **Anexo C** una ficha técnica más completa de esta luminaria. La distribución de las luminarias en los laboratorios se muestra en la figura N°16.

3.3. Tareas visuales.

El laboratorio LAFTLA de acuerdo a la página web de la Escuela de Ingeniería Eléctrica es un espacio físico para academia, investigación y desarrollo en: óptica aplicada, fotónica, comunicaciones ópticas, comunicaciones por fibra óptica, radiometría, fotometría, seguridad con láser, optoelectrónica y metrología óptica. Más específicamente en los laboratorios se efectúan tareas como:

1. Calibración de equipo para medición de radiación óptica (Laboratorio 1-11).
2. Procedimientos de ensayo en mediciones de radiación óptica, siguiendo normas internacionales de metrología (Laboratorios 1-10 y 1-11).
3. Se imparten los laboratorios de varios cursos especializados en las áreas de responsabilidad del LAFTLA (Laboratorios 1-10 y 1-11).
4. Proyectos finales de graduación de estudiantes asignados por el Coordinador del laboratorio.
5. Proyectos de investigación del LAFTLA.

Es importante mencionar que cuando se efectúan la mayoría de las tareas antes mencionadas actualmente se apaga el alumbrado del laboratorio ya que por la naturaleza de las mediciones se requiere que existe la mínima luz intrusa emitida por el sistema de iluminación

del laboratorio y muchas veces se acude al uso de pequeños focos para facilitar la lectura de los instrumentos de medición.

4. Mediciones luminotécnicas en los laboratorios.

Para verificar los niveles de iluminancia en ambos laboratorios se recurre al procedimiento establecido en la oficial Mexicana NOM-025-STPS, (2008) [14]. Por lo tanto primero se efectúa un cálculo del índice de área de acuerdo a la ecuación:

$$\mathbf{IC} = \frac{(x)(y)}{h(x+y)} \quad \mathbf{(4-1)}$$

Donde:

IC = índice del área.

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

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

Con el fin de determinar el número de zonas para efectuar las mediciones. Se obtuvo los siguientes resultados para cada uno de los laboratorios:

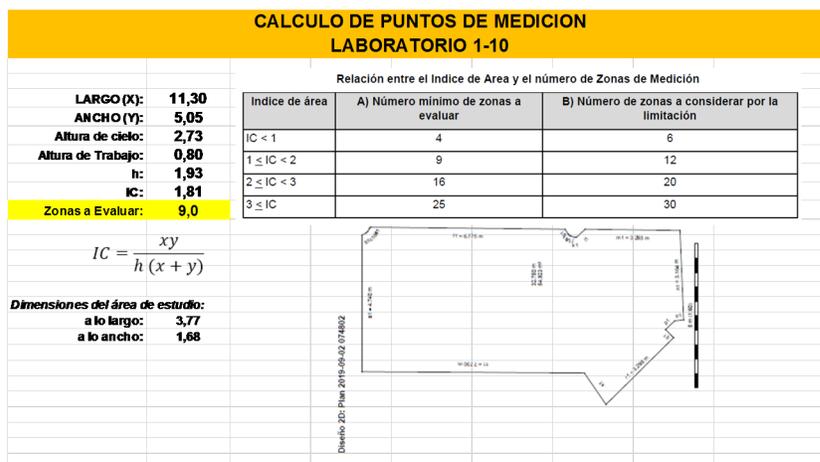


Figura 21. Cálculo del índice de área para el Laboratorio 1-10 (LAFTLA).
(Confección propia)

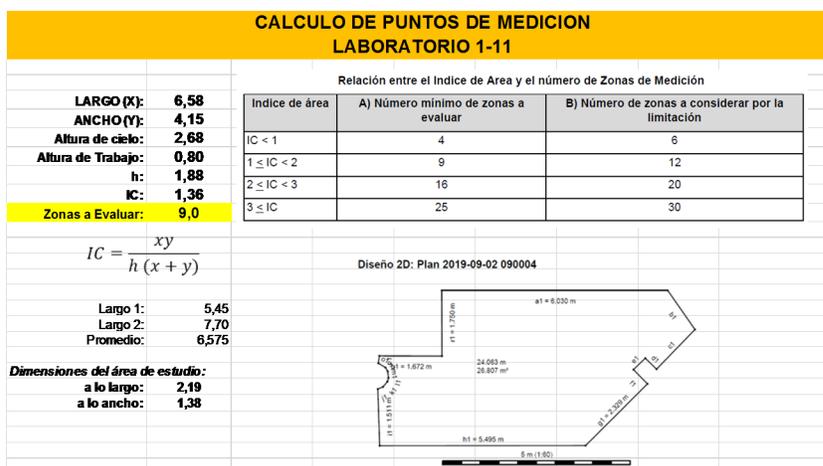


Figura 22. Cálculo del índice de área para el Laboratorio 1-11 (LAFTLA).
(Confección propia)

Para estos cálculos se tomaron en cuenta las mediciones efectuadas con el medidor láser de distancia LEICA DISTO X4. En resumen para cada uno de los laboratorios el área será dividida en 9 zonas. En la siguiente figura se puede apreciar la distribución de las zonas para cada uno de los laboratorios.

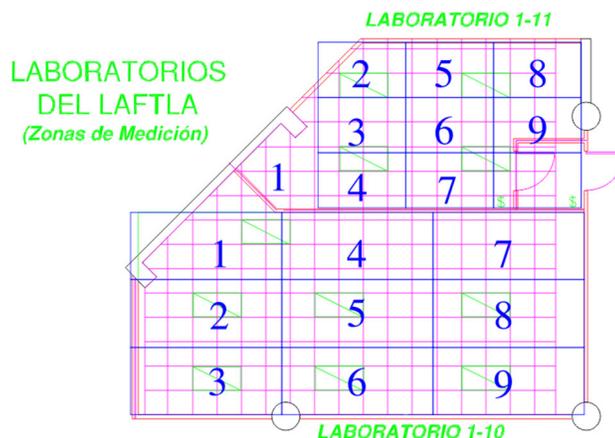


Figura 23. Distribución de las zonas de medición para los Laboratorios 1-10 y 1-11 (LAFTLA).
(Confección propia)

Las luminarias instaladas son del tipo fluorescente, las mismas cumplen con la recomendación relacionada con el tiempo de maduración de las fuentes de luz la cual establece que se debe esperar un periodo de 100 horas de operación antes de realizar las mediciones, ya que las mismas no son nuevas.

Para proceder con la verificación, se procedió a encender las lámparas con antelación, permitiendo que el flujo luminoso se estabilizara, por un periodo de tiempo de aproximadamente una hora tal y como lo exige la norma. Los sistemas de ventilación operaron normalmente, ya que el flujo luminoso de las lámparas de descarga y fluorescentes tienen fluctuaciones por cambios de temperatura ambiente.

Parte de las mediciones incluyen la medición del índice de reflexión en las paredes y en el mobiliario principal de los laboratorios. Para lo cual se sigue el procedimiento establecido por la norma NOM-025-STPS, (2008) [14], el cual se transcribe a continuación:

a) Se efectúa una primera medición (E_{v1}), con el sensor del medidor de iluminancia colocada de cara a la superficie, a una distancia de $10 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$, hasta que la lectura permanezca constante;

- b) Una segunda medición (E_{v2}), se realiza con el sensor orientado en sentido contrario y apoyado en la superficie, con el fin de medir la luz incidente, y
- c) El factor de reflectancia de la superficie (K_f) en porcentaje se determina con la ecuación siguiente:

$$K_f = \frac{E_{v1}}{E_{v2}} \times 100 \quad (4-2)$$

Se procede a efectuar las mediciones en cada una de las zonas de ambos laboratorios en el lugar de las mesas o bien en el centro geométrico de la zona en caso de que la misma no contenga mueble. Dentro de cada zona se efectuaron 3 muestras y se obtuvo un promedio simple de las mismas para registrar el nivel de iluminancia en dicha zona.

Paras realizar las mediciones se utilizó el siguiente medidor de iluminancia de la marca AMPROBE:

	<p>Equipo: Medidor de Iluminancia. Marca: AMPROBE Modelo: LM-200LED Serie: 16121016 Características:</p> <p style="text-align: right;">LM-200LED LED Light Meter Data Sheet</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">General Specifications</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Display</td> <td>2000 count LCD</td> </tr> <tr> <td>Sensor</td> <td>Silicon photodiode and filter.</td> </tr> <tr> <td>Environment</td> <td>Indoor operation</td> </tr> <tr> <td>Altitude</td> <td>Up to 2000m.</td> </tr> <tr> <td>LED Light Measurement</td> <td>3½ digits, 2000 readings</td> </tr> <tr> <td>Range</td> <td>40, 400, 4,000, 40,000, 400,000 Lux 40, 400, 4,000, 40,000 Foot-candle</td> </tr> <tr> <td>Accuracy</td> <td>+/-3% (Calibrated to standard incandescent lamp 2856° K) and corrected LED day while-light spectrum. +/-6% other visible light sources</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Temperature / Humidity</td> </tr> <tr> <td>Operating</td> <td>-10 °C to 40 °C (14°F to 104°F), 0 to 80 %RH.</td> </tr> <tr> <td>Storage</td> <td>-10 °C to 50 °C (14°F to 122°F), 0 to 70 %RH.</td> </tr> <tr> <td>Power Supply</td> <td>9V NEDA 1604, IEC 6F22, JIS 006P battery</td> </tr> <tr> <td>Battery life</td> <td>200 hours</td> </tr> <tr> <td>Auto Power Off</td> <td>approx 6 min</td> </tr> <tr> <td>Dimension (Base)</td> <td>130 x 63 x 38 mm (5.1 x 2.5 x 1.5")</td> </tr> <tr> <td>Dimension (Sensor)</td> <td>80 x 55 x 29 mm (3.2 x 2.2 x 1.1")</td> </tr> <tr> <td>Weight</td> <td>220 g (.48 lb.) include battery</td> </tr> <tr> <td>Included Accessories</td> <td>Users manual, 9 volt battery</td> </tr> </tbody> </table>	General Specifications		Display	2000 count LCD	Sensor	Silicon photodiode and filter.	Environment	Indoor operation	Altitude	Up to 2000m.	LED Light Measurement	3½ digits, 2000 readings	Range	40, 400, 4,000, 40,000, 400,000 Lux 40, 400, 4,000, 40,000 Foot-candle	Accuracy	+/-3% (Calibrated to standard incandescent lamp 2856° K) and corrected LED day while-light spectrum. +/-6% other visible light sources	Temperature / Humidity		Operating	-10 °C to 40 °C (14°F to 104°F), 0 to 80 %RH.	Storage	-10 °C to 50 °C (14°F to 122°F), 0 to 70 %RH.	Power Supply	9V NEDA 1604, IEC 6F22, JIS 006P battery	Battery life	200 hours	Auto Power Off	approx 6 min	Dimension (Base)	130 x 63 x 38 mm (5.1 x 2.5 x 1.5")	Dimension (Sensor)	80 x 55 x 29 mm (3.2 x 2.2 x 1.1")	Weight	220 g (.48 lb.) include battery	Included Accessories	Users manual, 9 volt battery
General Specifications																																					
Display	2000 count LCD																																				
Sensor	Silicon photodiode and filter.																																				
Environment	Indoor operation																																				
Altitude	Up to 2000m.																																				
LED Light Measurement	3½ digits, 2000 readings																																				
Range	40, 400, 4,000, 40,000, 400,000 Lux 40, 400, 4,000, 40,000 Foot-candle																																				
Accuracy	+/-3% (Calibrated to standard incandescent lamp 2856° K) and corrected LED day while-light spectrum. +/-6% other visible light sources																																				
Temperature / Humidity																																					
Operating	-10 °C to 40 °C (14°F to 104°F), 0 to 80 %RH.																																				
Storage	-10 °C to 50 °C (14°F to 122°F), 0 to 70 %RH.																																				
Power Supply	9V NEDA 1604, IEC 6F22, JIS 006P battery																																				
Battery life	200 hours																																				
Auto Power Off	approx 6 min																																				
Dimension (Base)	130 x 63 x 38 mm (5.1 x 2.5 x 1.5")																																				
Dimension (Sensor)	80 x 55 x 29 mm (3.2 x 2.2 x 1.1")																																				
Weight	220 g (.48 lb.) include battery																																				
Included Accessories	Users manual, 9 volt battery																																				

El certificado de calibración del instrumento emitido por el LAFTLA se muestra en el **Anexo D**.



Figura 24. Montaje para las mediciones en una zona que no contiene mueble (LAFTLA).
(Confección propia)



Figura 25. Medición sobre mueble (LAFTLA).
(Confección propia)

Una vez efectuadas las mediciones en las 9 zonas para cada uno de los laboratorios se procede al cálculo del nivel promedio de iluminación por medio de la siguiente expresión:

$$E_p = \frac{\sum E_i}{N} \quad (4-3)$$

Donde:

E_p = Nivel promedio en lux.

E_i = Nivel de iluminación Medido en lux en cada punto.

N = Número de medidas realizadas.

A continuación se presenta un resumen de las mediciones obtenidas en cada uno de los laboratorios:

Tabla 13. Resumen mediciones iluminancia Laboratorio 1-10.

RESUMEN DE MEDICIONES LABORATORIO 1-10			
Punto Medicion	Iluminancia E_i / Lx	Iluminancia Requerida / Lx	Cumple Norma
Zona 1 (1)	75,0		
Zona 2 (2)	53,7		
Zona 3 (2)	106,0		
Zona 4	247,0		
Zona 5	247,0		
Zona 6	385,3		
Zona 7	133,7	$E_p = \frac{\sum E_i}{N}$	
Zona 8	303,0		
Zona 9	342,3		
E_p	210,3	500,00	NO CUMPLE
Notas:			
(1) - Dentro de esta zona no se instaló la luminaria que aparece en planos.			
(2) - Dentro de esta zona la luminaria estaba tapada con una malla sarán color negro.			

(Confeción propia)

Se observa que los niveles de iluminación medidos en las zonas 1, 2 y 3 tuvieron valores bajos esto debido a dos hechos. Primero la luminaria que según planos debía instalarse en la zona 1 no se instaló, y segundo las luminarias ubicadas en las zonas 2 y 3 estaban tapadas con un zarán de color negro (ver Figura N°26).



Figura 26. Luminarias tapadas con un zarán negro Laboratorio 1-10 (LAFTLA).
(Confección propia)

Tabla 14. Resumen mediciones iluminancia Laboratorio 1-11.

RESUMEN DE MEDICIONES LABORATORIO 1-11			
Punto Medicion	Iluminancia E_i / Lx	Iluminancia Requerida / Lx	Cumple Norma
Zona 1	90,7		
Zona 2	354,0		
Zona 3	270,7		
Zona 4	295,0		
Zona 5	201,0		
Zona 6	333,3		
Zona 7	289,3	$E_p = \frac{\sum E_i}{N}$	
Zona 8	187,0		
Zona 9	229,7		
E_p	250,1	500,00	NO CUMPLE
Notas:			

(Confección propia)

Los bajos valores de iluminancia en las zonas 1 y 8 se explican a partir de la geometría del laboratorio y a la óptica de la luminaria instalada.

En las siguientes tablas se resumen las reflectancias de los muebles dentro de los laboratorios y de la pared:

Tabla 15. Resumen mediciones Reflectancias de muebles Laboratorio 1-10.

RESUMEN DE REFLECTANCIAS MUEBLES LABORATORIO 1-10			
Punto Medicion	Mueble dentro de la zona	Reflectancia mueble	
Zona 1	SI	27,4%	
Zona 2 (1)	SI	3,1%	
Zona 3	SI	27,4%	
Zona 4	NO		
Zona 5	NO		
Zona 6	SI	24,0%	
Zona 7	NO		
Zona 8	SI	26,0%	
Zona 9	SI	25,6%	
Notas:			
(1) - Mueble con sobre de color negro.			

(Confección propia)

Tabla 16. Resumen mediciones Reflectancias de muebles Laboratorio 1-11.

RESUMEN DE REFLECTANCIAS MUEBLES LABORATORIO 1-11			
Punto Medicion	Mueble dentro de la zona	Reflectancia mueble	
Zona 1	NO		
Zona 2	SI	20,2%	
Zona 3	SI	22,8%	
Zona 4	NO		
Zona 5	SI	20,2%	
Zona 6	NO		
Zona 7	NO		
Zona 8 (1)	SI	42,1%	
Zona 9	NO		
Notas:			
(1) - Mueble con sobre de color beige.			

(Confección propia)

En la siguiente tabla se muestra las mediciones efectuadas para determinar la reflectancia de la pared de los laboratorios:

Tabla 17. Mediciones Reflectancias de pared de los laboratorios.

Punto Medicion	Tipo	Altura de las mediciones	Iluminancia Directa E_{v2} / Lx	Iluminancia Reflejada E_{v1} / Lx
Pared 1			325,0	11,0
			287,0	11,0
			74,0	3,0
		Promedio Iluminancia / Lx	228,7	8,3
		Reflectancia / %	3,6%	

(Confección propia)

5. Análisis y selección de la propuesta de iluminación.

Descripción del local.

Para lograr una propuesta de iluminación óptima para los laboratorios del LAFTLA se debe tomar en consideración las limitaciones que impone el mismo local en donde están ubicados los mismos. En primer lugar, ambos laboratorios carecen de la presencia de iluminación natural. En segundo lugar, la geometría de los laboratorios es poco regular lo que dificulta tener una distribución simétrica de las luminarias que nos permita lograr los niveles requeridos por la norma nacional. En tercer lugar, se debe considerar en el diseño el hecho de que todas las paredes de los laboratorios están pintadas de color negro con un bajo índice de reflexión (se obtuvo un valor de 3.6% en las mediciones).

Otra característica del local es el hecho de que el cielo raso es del tipo cielo falso. Esto impone una limitación a la ubicación de las nuevas luminarias. El área de acceso a los laboratorios carece de iluminación artificial y pese a que posee una ventanilla que permite la entrada de la iluminación del pasillo la visibilidad es limitada para los estudiantes a la hora que utilizan los lockers ubicados en este espacio.

Estos aspectos del local imponen las siguientes consideraciones en la nueva propuesta:

1. Lograr cumplir con los requerimientos de la norma nacional en cuanto a nivel de iluminación y uniformidad en los espacios de trabajo a pesar de las limitaciones que impone el local.
2. Ubicar un punto de luz en el área de acceso.
3. Lograr el mínimo impacto a la infraestructura actual del sistema de iluminación en cuanto al plantillado del cielo falso y al cableado eléctrico adicional que pudiera requerir la nueva propuesta.

Tareas visuales.

De acuerdo a lo que se estableció como tareas visuales en el apartado 3.3 se concluye que se debe tomar en consideración en la nueva propuesta los siguientes aspectos:

1. Considerar un sistema de control de iluminación que permita establecer escenas de iluminación ya que las actividades visuales establecidas imponen variaciones importantes en los niveles de iluminancia en las áreas donde se realizan las tareas.
2. Conseguir los niveles de iluminancia de tarea establecida por la norma nacional de 500 lux e inclusive en algunos casos superar este nivel ya que en ocasiones los proyectos que se ejecutan en los laboratorios implican trabajar con elementos pequeños de electrónica. En este aspecto se debe tomar en cuenta que las mediciones efectuadas al sistema de iluminación actual están por debajo de la norma.
3. En cuanto a los aspectos de color de la fuente de luz a escoger se debe considerar los siguientes:
 - a. Temperatura de color correlacionada: 5000 ó 6500 K para garantizar una luz con un espectro de emisión más equilibrado en todo el espectro visible.
 - b. Índice de reproducción de color mínimo: 80% (de acuerdo a la norma).

Eficiencia energética.

Esto se logra sustituyendo las luminarias actuales de tecnología fluorescente T8 con LEDs y adicionalmente con la implementación de un sistema de control de escenas.

Capas de Iluminación.

Las luminarias a instalar cubrirán las capas de iluminación general y de tarea.

Selección de la luminaria.

Debe tener las siguientes características.

1. Que el fabricante la recomiende para espacios de capacitación como escuelas, colegios.
2. Para montaje de empotrar en cielo falso.
3. Disponible en tamaños de 602 x 602 mm (2x2 pies) y de 602 x 1216 mm (2x4 pies).
4. De tecnología LED.
5. Con capacidad de control de nivel en su driver de forma tal que se puede incorporar fácilmente a un sistema de control.
6. Disponible en temperaturas de color de 5000 o 6500 K.
7. Índice de reproducción de color mínima de 80%.
8. Luminaria certificada por UL o similar.

Se selecciona luminaria de la marca Sylvania, modelo RUBICO LED con las siguientes especificaciones:

Resumen de rendimiento Performance summary		
Datos técnicos / Technical Data	TL	TS
Índice de reproducción color / Color rendering index	80 ^º	80 ^º
Capacidad de atenuación / Dimming capability	0 V - 10 V	0 V - 10 V
Voltaje de operación / Input voltage	120 V a 277 V~	120 V a 277 V~
Frecuencia de operación / Operating frequency	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Factor de potencia / Power factor	> 0.9	> 0.9
DAT en corriente / THD in current	≤20%	≤20%
Vida útil / Lifespan	L70 (12kh) = 72 000h (85°C)	L70 (10kh) = 50 000h (85°C)
CCT Disponible / CCT Available	4000 K, 5000 K, 6500 K	4000 K

Figura 27. Resumen de las especificaciones de la Luminaria seleccionada.

(Tomado del catálogo de Sylvania del modelo Rúbico LED)

De donde se concluye que este modelo cumple con todos los requerimientos. Se presenta a continuación una imagen de la luminaria seleccionada:



Figura 28. Imagen de la Luminaria seleccionada.
(Tomado del catálogo de Sylvania del modelo Rúbico LED)

En el **Anexo E** se muestra la hoja de ficha técnica de esta luminaria.

Sistema de control de iluminación.

Se propone la incorporación del sistema de control de iluminación de Sylvania denominado SylSmart.

Este sistema de control permite la aplicación de apagado automático / encendido manual y apagado automático / encendido parcial en todas las luminarias. Una de las características más llamativas es que el sistema es inalámbrico. Consta de las siguientes características:

1. Detección de ocupación, recolección de luz natural y ajuste de tareas en un dispositivo.
2. Configuración de escena y uso compartido de la ocupación.
3. Tamaño compacto, conexión de 2 hilos.

4. Configuración de los parámetros del sensor, usando NFC o IR a través de aplicaciones para celular basadas en la plataforma Android.
5. Configuración y puesta en marcha desde el lugar de instalación.

El sistema utiliza los siguientes componentes:

Control / sensor inteligente inalámbrico incorporado a la luminaria misma, se muestra a continuación el diagrama de conexión:

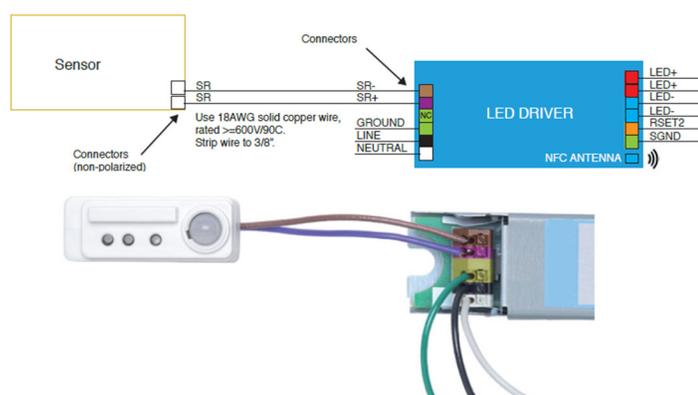


Figura 29. Diagrama de conexión del Control / sensor inteligente inalámbrico en la luminaria.
(Tomado del catálogo de SylSmart de Sylvania)

Algunas de las luminarias LED de Sylvania permiten que se suministren desde fábrica con este sensor / control incorporado en las mismas. Entre ellas el modelo escogido RUBICO LED (Ver figura N°30).

Configuraciones disponibles
available configurations

ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS

Modelo Model	Tipo LED LED type	Cant. Módulos LED Modules Qty.	Potencia (W) Power	Flujo Lum. Total Difusor / Diffuser Microperforado	Lum. Flux (lm) Difusor / Diffuser Rúbico	SylSMART
Rúbico LED	SMD	2	18	1560	2170	
		2	27	2130	2950	
		2	32	2560	3550	SS
		2	36	2920	4040	SS
		2	42	3440	4770	
		3	39	3060	4430	
		3	42	3360	4950	
		3	52	4120	6070	SS
		4	52	4550	6410	SS
		4	56	4640	6510	SS
		4	73	5910	8330	SS
		6	78	6230	9020	
		6	104	8450	12370	

Figura 30. Opciones SylSmart del modelo RUBICO LED.
(Tomado del catálogo de Sylvania del modelo Rúbico LED)

Un interruptor inalámbrico que se puede montar en pared que no tiene batería. Este interruptor posee dos botones (Ver figura N°25). El de la izquierda permite encender y apagar un grupo de luminarias, así como atenuarlas. El botón de la derecha permite programar dos escenas.

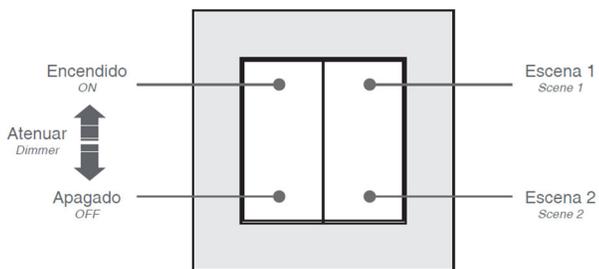


Figura 31. Botones del Interruptor inalámbrico SylSmart.
(Tomado del catálogo de SylSmart de Sylvania)



Figura 32. Imagen del Interruptor inalámbrico SylSmart.
(Tomado del catálogo de SylSmart de Sylvania)

La empresa Felio Sylvania posee el personal para programar los componentes de este sistema para una aplicación específica. Este estudio se limitará a establecer las escenas apropiadas para cada uno de los laboratorios. Dichas escenas serán simuladas en el software DIALUX EVO. Estas serán:

Para el Laboratorio 1-10:

1. Escena “todo encendido”
2. Escena “En clases”
3. Escena “Proyecto Especial” (considera el área reservada del laboratorio que actualmente está ocupada para un proyecto especial).

Para el Laboratorio 1-11:

1. Escena “todo encendido”
2. Escena “En clases”
3. Escena “Trabajo de escritorio”.

6. Simulación y validación de la nueva alternativa de iluminación para los laboratorios.

6.1. Datos del diseño propuesto.

Se procede a simular los dos laboratorios en un solo modelo, definiendo 3 locales con los nombres de cada uno de los laboratorios y uno denominado acceso (Ver figura N°27).

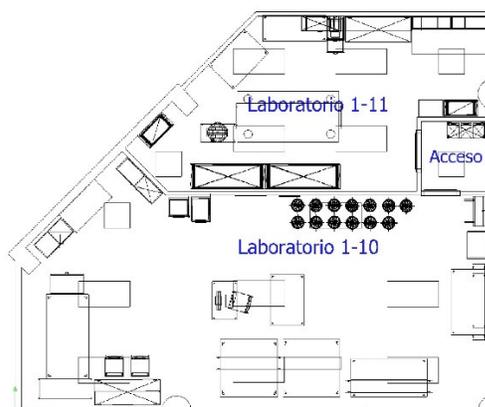


Figura 33. Locales definidos en la simulación.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

Se trabajará con 3 potencias para las luminarias del modelo Rubico LED:

Tabla 18. Opciones de la Luminaria seleccionada por local.

Especificación	Valor	Local donde se utilizó
Potencia:	19.5	ACCESO
Dimensiones (mm):	602 x 602	
Flujo luminoso (Lm):	2 171	
Rendimiento Lumínico (Lm/W):	111.5	
Potencia:	32.0	LABORATORIO 1-10 LABORATORIO 1-11
Dimensiones (mm):	602 x 602	
Flujo luminoso (Lm):	3 558	
Rendimiento Lumínico (Lm/W):	111.3	
Potencia:	52.0	LABORATORIO 1-10 LABORATORIO 1-11
Dimensiones (mm):	602 x 1 216	
Flujo luminoso (Lm):	6 411	
Rendimiento Lumínico (Lm/W):	123.3	

(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

La distribución de las luminarias escogidas por local se muestra en las figuras adjuntas

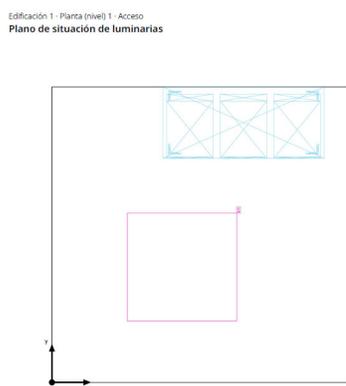


Figura 34. Distribución de las luminarias en local ACCESO.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)



Figura 35. Distribución de las luminarias en local LABORATORIO 1-10.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

Edificación 1 - Planta (nivel) 1 - Laboratorio 1-11
Plano de situación de luminarias

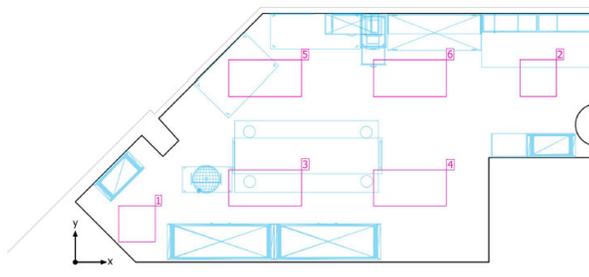


Figura 36. Distribución de las luminarias en local LABORATORIO 1-11.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

6.2. Imágenes renderizadas del diseño propuesto con DIALUX EVO.

A continuación, se muestran algunas de las imágenes renderizadas del diseño propuesto por local. En el **Anexo F** se adjunta el reporte completo generado por el software DIALUX EVO 9.2.

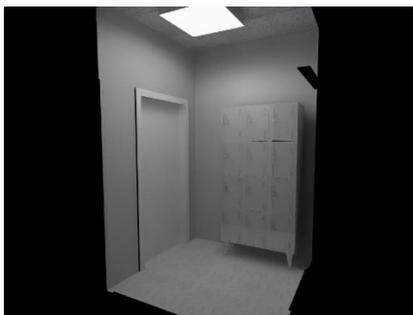


Figura 37. Distribución de las luminarias en local LABORATORIO 1-11.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)



Figura 38. Imagen renderizada en local LABORATORIO 1-10.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)



Figura 39. Imagen renderizada en local LABORATORIO 1-11.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

6.3. Resultados del rendimiento del diseño propuesto con DIALUX EVO.

En el **Anexo F** se adjunta el reporte completo generado por el software DIALUX EVO 9.2.

Local ACCESO:

El plano de la superficie de la tarea visual se sitúa a una altura de 0.8m del suelo en el cual se obtienen los siguientes resultados:

$$E_m = 229 \text{ lx}$$

$$E_{\text{mim}} = 125 \text{ lx}$$

$$E_{\text{max}} = 300 \text{ lx}$$

$$U = E_{\text{mim}} / E_m = 0.55$$

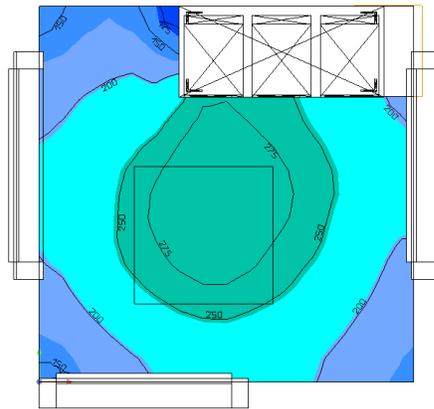


Figura 40. Curvas ISOLUX en el plano útil en local ACCESO.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

Local LABORATORIO 1-10:

El plano de la superficie de la tarea visual se sitúa a una altura de 0.8m del suelo en el cual se obtienen los siguientes resultados:

$$E_m = 560 \text{ lx}$$

$$E_{\text{mim}} = 149 \text{ lx}$$

$$E_{\text{max}} = 842 \text{ lx}$$

$$U = E_{\text{mim}} / E_m = 0.27$$



Figura 41. Curvas ISOLUX en el plano útil en local LABORATORIO 1-10.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

Como se desprende de la Figura N°41 el plano útil no abarca toda la geometría del local sino solamente el área “útil” de tarea del laboratorio. Adicionalmente se configuraron 3 superficies de cálculo para evaluar el comportamiento en 3 de los muebles del laboratorio en donde se efectúan las tareas más importantes, se obtienen los siguientes resultados:



Figura 42. Superficies de cálculo en local LABORATORIO 1-10.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

Tabla 19. Resumen de datos luminotécnicos superficies de cálculo / LABORATORIO 1-10.

Superficie de cálculo	E_m / lx	E_{min} / lx	E_{max} / lx	E_{min}/E_m
Mesa trabajo 1	434	323	538	0.74
Mesa trabajo 2	689	401	873	0.58
Mesa trabajo 3	730	420	896	0.58

(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

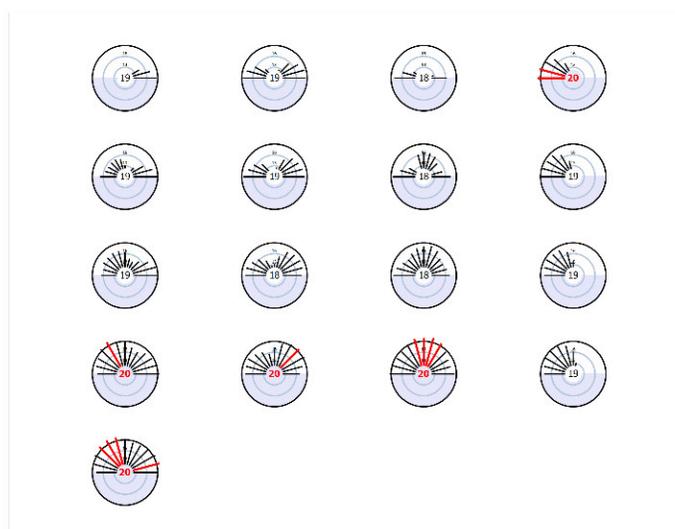
En cuanto a los resultados de deslumbramiento se obtiene los siguientes datos:

La altura de vista de una persona sentada es 1.200 m.

UGR de la tarea visual máxima: 20.2

Máximo deslumbramiento a 75°, Max: 20.2, valor límite: ≤ 19 .

Área del ángulo de visual: = 0° - 180°, amplitud de paso: 15°



Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Figura 43. Valores de deslumbramiento DIALUX EVO / LABORATORIO 1-10.

(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

Local LABORATORIO 1-11:

El plano de la superficie de la tarea visual se sitúa a una altura de 0.8m del suelo en el cual se obtienen los siguientes resultados:

$$E_m = 566 \text{ lx}$$

$$E_{\text{mim}} = 213 \text{ lx}$$

$$E_{\text{max}} = 850 \text{ lx}$$

$$U = E_{\text{mim}}/E_m = 0.38$$



Figura 44. Curvas ISOLUX en el plano útil en local LABORATORIO 1-11.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

Como se desprende de la Figura N°44 el plano útil no abarca toda la geometría del local sino solamente el área “útil” de tarea del laboratorio. Adicionalmente se configuraron 3 superficies de cálculo para evaluar el comportamiento en 3 de los muebles del laboratorio en donde se efectúan las tareas más importantes, se obtienen los siguientes resultados:

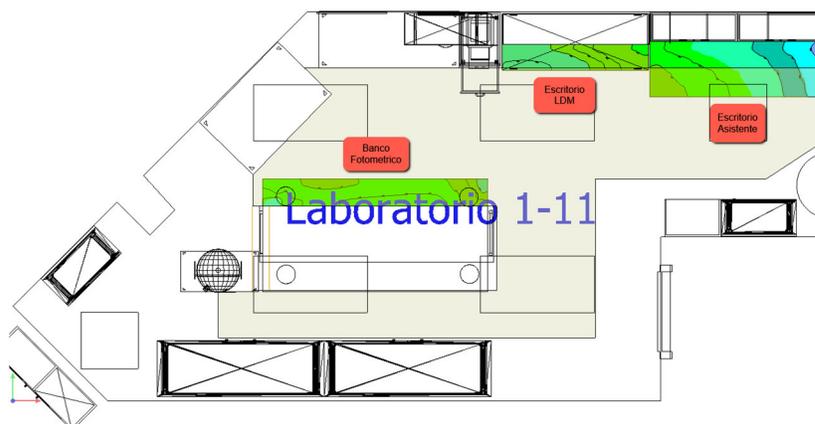


Figura 45. Superficies de cálculo en local LABORATORIO 1-11.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

Tabla 20. Resumen de datos luminotécnicos superficies de cálculo / LABORATORIO 1-11.

Superficie de cálculo	E_m / lx	E_{min} / lx	E_{max} / lx	E_{mim} / E_m
Escritorio LDM	597	484	689	0.81
Escritorio asistente	421	232	541	0.55
Banco Fotométrico	473	406	656	0.86

(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

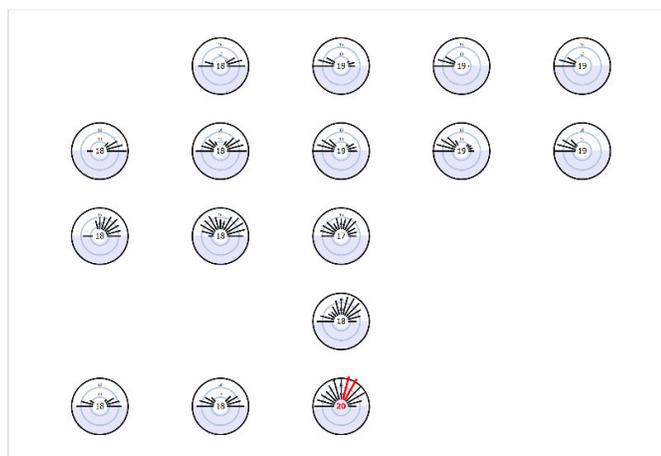
En cuanto a los resultados de deslumbramiento se obtiene los siguientes datos:

La altura de vista de una persona sentada es 1.200 m.

UGR de la tarea visual máxima: 20.1

Máximo deslumbramiento a 60° , Max: 20.1, valor límite: ≤ 19 .

Área del ángulo de visual: = $0^\circ - 180^\circ$, amplitud de paso: 15°



Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Figura 46. Valores de deslumbramiento DIALUX EVO / LABORATORIO 1-11.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

6.4. Simulación de escenas propuestas en DIALUX EVO.

Se procede a simular las escenas propuestas en el capítulo anterior para los dos laboratorios. Para ello se crean grupos de luminarias de la forma mostrada en la siguiente figura:

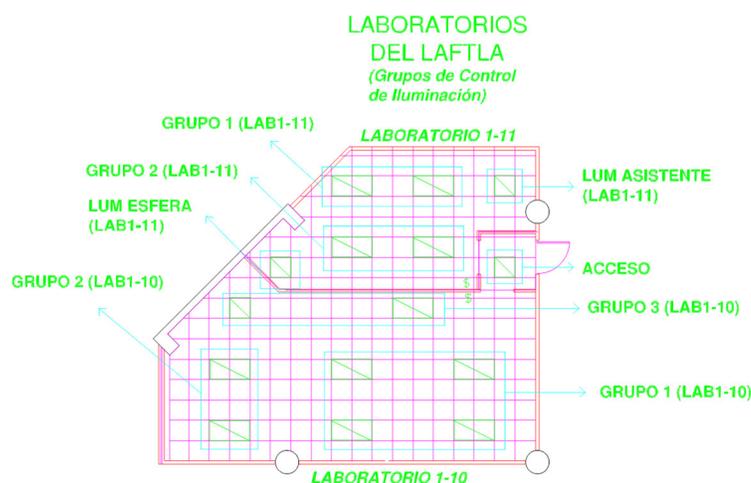


Figura 47. Grupos de control de iluminación por local. Laboratorios LAFTLA.

(Confección propia)

Con esta definición de grupos se procede a definir las escenas propuestas. Esto se resume en las siguientes tablas:

Tabla 21. Configuración de las escenas propuestas / LABORATORIO 1-10.

Escena	GRUPO 1 (LAB1-10)	GRUPO 2 (LAB1-10)	GRUPO 3 (LAB1-10)
Todo Encendido	100%	100%	100%
En clases	100%	0%	50%
Proyecto Especial	0%	100%	50%

(Confección propia)

Tabla 22. Configuración de las escenas propuestas / LABORATORIO 1-11.

Escena	GRUPO 1 (LAB1-11)	GRUPO 2 (LAB1-11)	Luminaria Asistente	Luminaria Esfera
Todo Encendido	100%	100%	100%	100%
En clases	100%	100%	50%	0%
Trabajo Escritorio	100%	50%	100%	0%

(Confección propia)

A continuación, se presentan las curvas isolux a nivel del plano útil de las diferentes escenas para ambos laboratorios:

Para el Laboratorio 1-10:



Figura 48. Curvas ISOLUX en plano útil (Escena Todo encendido) LABORATORIO 1-10.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)



Figura 49. Curvas ISOLUX en plano útil (Escena En clases) LABORATORIO 1-10.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

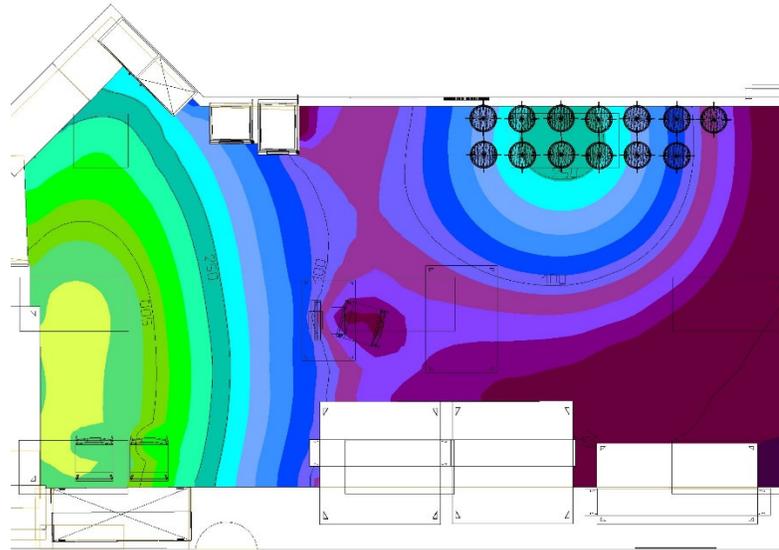


Figura 50. Curvas ISOLUX en plano útil (Escena Proyecto Especial) LABORATORIO 1-10.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

Para el Laboratorio 1-11:

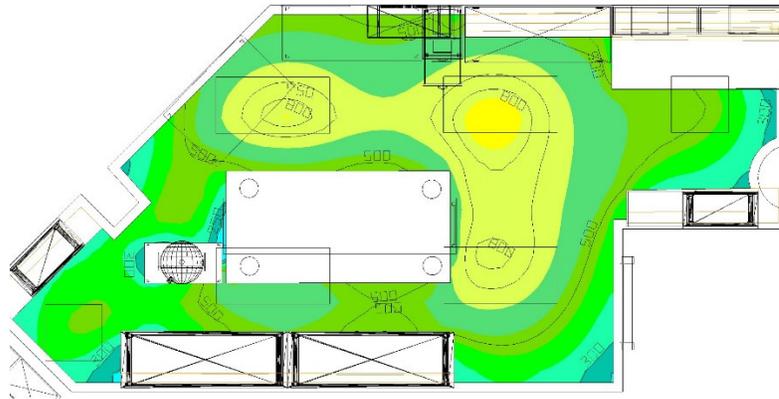


Figura 51. Curvas ISOLUX en plano útil (Escena Todo encendido) LABORATORIO 1-11.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

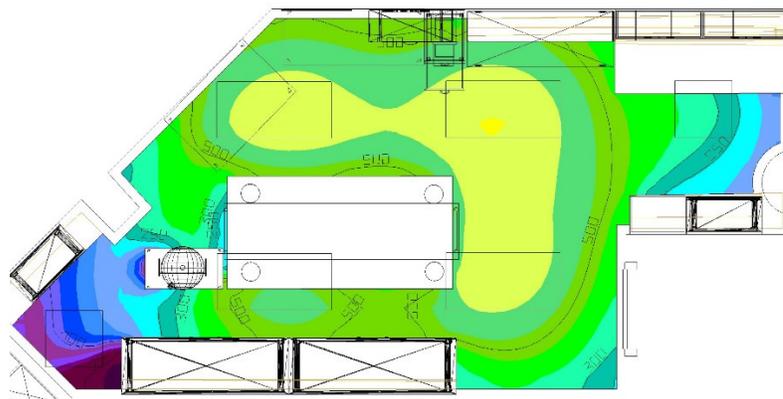


Figura 52. Curvas ISOLUX en plano útil (Escena En clases) LABORATORIO 1-11.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

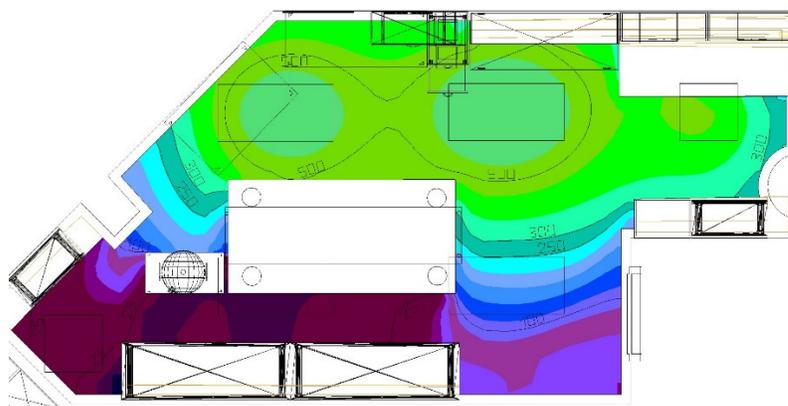


Figura 53. Curvas ISOLUX en plano útil (Escena Trabajo escritorio) LABORATORIO 1-11.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

De este análisis de escenas se puede definir la siguiente configuración para dos interruptores inteligentes SylSmart que se instalarían en cada uno de los laboratorios:

Se debe tomar en cuenta para el sensor de ocupación de cada una de las luminarias la siguiente curva de encendido y apagado propuesta por el fabricante:

SENSOR DE OCUPACIÓN
OCCUPANCY SENSOR

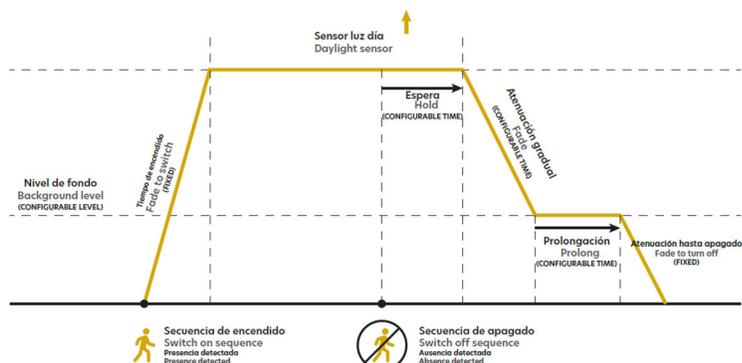


Figura 54. Curva de encendido y apagado del Sensor de Movimiento.
(Tomado la ficha técnica de SylSmart)

Tabla 23. Programación Control SylSmart / LABORATORIO 1-10.

LABORATORIO 1-10			
Grupos:			
Grupo 1 - LAB1-10 (ver Figura 47)			
Grupo 2 - LAB1-10 (ver Figura 47)			
Grupo 3 - LAB1-10 (ver Figura 47)			
Cantidad de Interruptores SylSmart:	1		
Parametros de Programación grupo:			
a. Control de ocupación	<input checked="" type="checkbox"/>	Habilitar	<input type="checkbox"/> Deshabilitar
b. Control de luminosidad	<input type="checkbox"/>	Habilitar	<input checked="" type="checkbox"/> Deshabilitar
c. Compartir ocupación al grupo	<input checked="" type="checkbox"/>	Habilitar	<input type="checkbox"/> Deshabilitar
d. Resto del Grupo sin detección	<input checked="" type="checkbox"/>	Nivel de Fondo	<input type="checkbox"/> Nivel máx. en campo
	<input type="checkbox"/>	Encendido / Apagado Automático	
e. Modo Encendido / Apagado	<input type="checkbox"/>	Encendido / Apagado Manual	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Encendido Manual / Apagado Automático	
f. Nivel de actividad		100%	
g. Eco a nivel		100%	
h. Nivel de luz de Fondo		10%	
i. Tiempo de espera		5 minutos	
j. Período de Extensión		5 minutos	
k. Período de transición		20 segundos	
Escenarios:			
ESCENARIO 1 / Botón Superior Derecho: Escena En Clases (Ver Tabla 21)		ESCENARIO 2 / Botón Inferior Derecho: Escena Proyecto Especial (Ver Tabla 21)	

(Confección propia)

Tabla 24. Programación Control SylSmart / LABORATORIO 1-11.

LABORATORIO 1-11			
Grupos:			
Grupo 1 - LAB1-11 (ver Figura 47)			
Grupo 2 - LAB1-11 (ver Figura 47)			
Lum. Asistente (ver Figura 47)			
Lum. Esfera (ver Figura 47)			
Cantidad de Interruptores SylSmart:	1		
Parámetros de Programación grupo:			
a. Control de ocupación	<input checked="" type="checkbox"/>	Habilitar	<input type="checkbox"/> Deshabilitar
b. Control de luminosidad	<input type="checkbox"/>	Habilitar	<input checked="" type="checkbox"/> Deshabilitar
c. Compartir ocupación al grupo	<input checked="" type="checkbox"/>	Habilitar	<input type="checkbox"/> Deshabilitar
d. Resto del Grupo sin detección	<input checked="" type="checkbox"/>	Nivel de Fondo	<input type="checkbox"/> Nivel máx. en campo
e. Modo Encendido / Apagado	<input type="checkbox"/>	Encendido / Apagado Automático	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Encendido / Apagado Manual	
f. Nivel de actividad		100%	
g. Eco a nivel		100%	
h. Nivel de luz de Fondo		10%	
i. Tiempo de espera		5 minutos	
j. Período de Extensión		5 minutos	
k. Período de transición		20 segundos	
Escenarios:			
ESCENARIO 1 / Botón Superior Derecho:		ESCENARIO 2 / Botón Inferior Derecho:	
Escena En Clases (Ver Tabla 22)		Escena Trabajo Escritorio (Ver Tabla 22)	

(Confección propia)

6.5. Comparación entre el rendimiento del alumbrado actual y el nuevo alumbrado propuesto.

La cantidad de luminarias a instalar en la propuesta sería la siguiente:

Lista de luminarias

Unidad	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
1	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 2170 lm 18W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	19.5 W	2171 lm	111.5 lm/W
3	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	32.0 W	3558 lm	111.3 lm/W
12	FEILO	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL	De Empotrar/ Iluminacion General	52.0 W	6411 lm	123.3 lm/W

Figura 55. Cantidad de luminarias por potencia de la Propuesta de Iluminación.
(Tomado de la simulación en DIALUX EVO)

La comparación se resume en la Tabla N°25:

Tabla 25. Comparación entre el rendimiento del alumbrado actual y el nuevo alumbrado propuesto.

	Estado Actual	Propuesta
Luminarias	Sylvania 507	Ver Tabla 18
Cantidad	10	16
Potencia / W	106	Ver Tabla 18
Potencia total instalada / W	1 060	739,5
Flujo total instalado / lm	108 000	89 765
Rendimiento lumínico de la instalación / Lm / W	101,9	121,4

(Confección propia)

6.6. Presupuesto del alumbrado propuesto.

A continuación, se muestra en la tabla N°26 el detalle del presupuesto el cual incluye los equipos y la instalación de los mismos en los laboratorios:

Tabla 26. Presupuesto del nuevo alumbrado propuesto.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
Luminaria Sylvania, modelo RUBICO, 2x2, 19.5W ⁽¹⁾	1	€67 105,00	€67 105,00
Luminaria Sylvania, modelo RUBICO, 2x2, 32W ⁽²⁾	3	€95 865,00	€287 595,00
Luminaria Sylvania, modelo RUBICO, 2x4, 52W ⁽²⁾	12	€122 337,00	€1 468 044,00
Interruptor inteligente de 4 botones SylSmart color blanco	2	€64 674,00	€129 348,00
Sensor de movimiento Tecnolite modelo SM-360-TS externo	1	€18 800,00	€18 800,00
Mano de Obra	1	689 812,2	€689 812,20
Otros materiales ⁽³⁾	1	€275 000,00	€275 000,00
		Subtotal:	€2 935 704,20
		I.V.A. (13%)	€381 641,55
		TOTAL:	€3 317 345,75
Notas:			
(1) - Se instalará con un sensor de movimiento externo ya que no se suministra con el control / sensor SylSmart.			
(2) - En el precio se incluye el control / sensor SylSmart incorporado en la luminaria.			
(3) - Material eléctrico y constructivo adicional para instalar los nuevos puntos de luz.			

(Confección propia)

7. Conclusiones y recomendaciones.

7.1. Conclusiones.

- Por medio de la búsqueda bibliográfica se logró cumplir con el objetivo que tenía el proyecto que era contar con una guía básica para el diseño de iluminación para laboratorios. Incluyó el concepto de capas de iluminación, unidades básicas, las cualidades de las fuentes de luz lo que nos permite seleccionarlas apropiadamente, aun cuando el objetivo era centrarse en las fuentes LED únicamente. Se estableció los principales parámetros del desempeño de un LED. Incluye también los tipos de luminarias, condiciones especiales de una luminaria para situaciones especiales en cuanto al daño mecánico y a la entrada de agua o polvo, también los controles de iluminación.
- Se definió el proceso de diseño de iluminación con sus diferentes etapas y se incluyó una sección de métodos de iluminar laboratorios específicamente. Lo cual es un aporte novedoso a este tipo de estudios.
- Se incluyó la metodología para efectuar las mediciones de la iluminancia lo cual es importante para poder evaluar el desempeño de un sistema de iluminación de laboratorio existente o uno nuevo.
- En cuanto al marco normativo se puede concluir que tanto en la normativa europea como en la de los Estados Unidos así como en la norma nacional INTE/ISO 8995-1:2016 [8] los laboratorios son considerados como espacios de trabajo en interiores ya que los mismos no solo existen en el ámbito académico sino que los podemos encontrar en diferentes industrias, incluida la industria de la iluminación.
- El estado actual de la iluminación de los laboratorios del LAFTLA presenta niveles inferiores a los establecidos en la norma nacional. Además, el sistema de iluminación no permite control de nivel lo que permitiría generar escenarios más apropiados para el tipo de trabajo que se efectúa en los mismos. En ocasiones se requieren

niveles de iluminación muy bajos lo cual no es posible lograrlo con el sistema actual y obliga a los usuarios a recurrir a medidas como la utilización de focos para iluminar pequeñas tareas para preparar montajes en el banco fotométrico por ejemplo.

- La luminaria escogida cumple con los requerimientos que se establecieron en el apartado 5 en cuanto a las tareas visuales, los parámetros técnicos de la fuente de luz, tipo de montaje de la luminaria, posibilidad de equipo auxiliar con control de nivel y sobre todo la posibilidad de suministrarla con un conjunto control / sensor instalado de fábrica dentro de la misma.
- El sistema de control escogido por su característica de ser inalámbrico nos permite lograr ahorros adicionales en energía y generar las escenas estudiadas en este trabajo sin tener que afectar significativamente la infraestructura del sistema de iluminación actual.
- El diseño propuesto se enfocó prioritariamente en lograr los niveles recomendados por la norma nacional aprovechando la ubicación actual de las luminarias y logrado la mínima afectación a la infraestructura actual en cuanto al emplantillado del cielo falso o al excesivo cableado eléctrico adicional.
- Se incorpora una luminaria en el área de acceso a los laboratorios ya que actualmente no se cuenta con iluminación y a pesar de que el espacio cuenta con una ventana de persianas que deja entrar la iluminación de los pasillos esta no es suficiente para cubrir las necesidades de los estudiantes que hacen uso por reglamentación de los lockers para dejar sus pertenencias antes de ingresar a los laboratorios. A dicha luminaria se le incorporará únicamente el control / sensor el cual funcionará como sensor de presencia. Esto limitará el cableado adicional a la alimentación eléctrica.
- Se proponen dos luminarias adicionales en el Laboratorio 1-10 una de 602x602mm y otra de 602x1 216 mm. En el caso del Laboratorio 1-11 se incorporan dos luminarias de 602x602mm nuevas y se reubica una de las luminarias respecto a la actual. Esto debido en parte a la geometría de los locales.

- Los niveles simulados cumplen con los niveles de iluminancia promedio en los planos de trabajo modificados establecidos por la norma nacional. Sin embargo, para verificar las uniformidades que establece la norma se definieron 3 superficies de cálculo adicionales para cada uno de los laboratorios ya que la uniformidad la establece la norma para el espacio de trabajo específicamente.
- Los niveles de deslumbramiento estuvieron ligeramente superiores a lo establecido con la norma en ambos laboratorios.
- Se propuso el esquema de programación para los sensores / controles de cada una de las luminarias y para los dos interruptores inteligentes que se incorporarán en cada uno de los laboratorios.
- La propuesta permite una reducción de la potencia instalada de 1 060 W a 739.5 W (un 30.2% de reducción) a pesar del aumento en el número de las luminarias (de 10 a 16). Adicionalmente aumenta el rendimiento lumínico de la instalación de 101.9 Lm/W a 121.4 Lm/W (un 19.1% de aumento).

7.2. recomendaciones.

- Se recomienda llevar a cabo la propuesta establecida en este proyecto ya que la misma logra cumplir la norma nacional en cuanto al nivel de iluminancia promedio. Adicionalmente la intervención a la infraestructura del sistema actual es mínima y el cableado eléctrico adicional es mínimo. La propuesta permite también flexibilidad en su aplicación por medio de los interruptores inalámbricos.

Bibliografía

- [1]. Castro Guaman, Miguel Paul; Posligua Murillo, Norman Christos. “Diseño De Iluminación Con Luminarias Tipo Led Basado En El Concepto Eficiencia Energética Y Confort Visual, Implementación De Estructura Para Pruebas”, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [2]. Celi Sotomayor, Dalton David; Chica Navarrete, Johnny Orlando. “Diseño De Un Sistema Eficiente De Control De Iluminación Con Luminarias Apropriadas Para Un Edificio De La Epn E Implementación Del Mismo En Un Laboratorio De Área De 200 M²”, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2011.
- [3]. Chimborazo, Chimborazo, José Luis. “Identificación De Riesgos Del Nivel De Iluminación De Aulas, Talleres Y Laboratorios De La Facultad De Mecánica – Espoch Bajo Normas Vigentes”. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Ecuador. 2015.
- [4]. Commission Internationale de L’Eclairage, “Estandard CIE S017/E: 2011, ILV: Vocabulario Internacional de Iluminación”, CIE Central Bureau, Austria, 2011.
- [5]. DIAL GmbH, “DIALux evo manual: A collection of all wiki articles”, Alemania, 2018.
- [6]. DiLaura, David; Houser, Kevin; Mistrick, Richard; Steffy, Gary. “Illuminating Engineering Society: The Lighting Handbook, Tenth Edition | Reference and Application”, IES, USA, 2011.
- [7]. Illuminating Engineering Society. “DG-18-08: Light + Design | A Guide to Designing Quality Lighting for People and Buildings”, IES, USA, 2008.
- [8]. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). Norma “INTE/ISO 8995-1: 2016: Iluminación de los lugares de trabajo: Parte 1. Interiores” 2016.

- [9]. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Comité Español de Iluminación (CEI). “Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros docentes”. España, 2020.
- [10]. Karlen, Mark; Spangler, Chistina; Benya, James. “Lighting Design Basics”, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA, 2017.
- [11]. Lago, Sá Alfred. “Aplicaciones del LED en Diseño de Iluminación”. Ediciones Técnicas Marcombo, España, 2015.
- [12]. López, Porras, Alex Bladimir. “Estudio Técnico De Iluminación Y Su Incidencia En Las Actividades Educativas En El Laboratorio De Mecanizado De La Carrera De Ingeniería Industrial, De La Universidad Técnica De Cotopaxi En El Año 2017”. Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, a la Carrera de Ingeniería Industrial, Ecuador, 2017.
- [13]. Philips Solid State Lighting Solutions Inc. “LED Lighting Explained: Understanding LED sources, Fixtures, Applications and Opportunities”. 2010.
- [14]. Secretaria Del Trabajo Y Previsión Social, México. “Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo”. México, 2008.
- [15]. Stricoff, R. Scott; Douglas B. Walters. “Handbook Of Laboratory Health and Safety”, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA, 1995.
- [16]. Tulla, Allan. “Three ways to light a laboratory”, disponible en Internet en: <http://luxreview.com/design-clinic/2015/06/three-ways-to-light-laboratories>, Lux magazine, UK, 16 de Junio 2015.
- [17]. U.S. Department of Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy. Federal Energy Management Program. “Laboratories for the 21st century: Best Practice Guide: Efficient Electric Lighting in Laboratories”. 2006.

ANEXOS

Anexo A. Certificados de calibración de equipos LEICA Geosystems.

- when it has to be right



Leica Geosystems Calibration Certificate Silver



LCA834023

Calibration Certificate Silver with measurement values issued by Manufacturer

Product Leica DISTO™ X4-1 **Serial No. / Certificate no.** 1681650862
Article No. 655107 **Inspection Date** 04-05-2018

Compliance

The Calibration Certificate Silver with measurement values issued by Manufacturer corresponds to the Producer Inspection Certificate M in accordance with DIN 55 350 Part 18-4.2.2.

Certificate

We hereby certify that the product described has been tested with the following result:

- Compliance** The test results are within the specification of the product.
- Non-Compliance** The test results are not within the specification of the product.

The test equipment used is traceable to national standards or to recognized procedures. This is established by our Quality Management System, audited and certified to ISO 9001 by an independent national accreditation authority.

Test Equipment

Distance Leica ADM 1442
Inclination Leica NIVEL210, WEISS 150 HAT

Test results

	Distance			
	Reference value (m)	0.0864	0.6192	2.4478
Calibration value* (m)	0.0869	0.6187	2.4479	7.8156
Deviation (mm)	0.50	-0.50	0.10	-0.10

* with statistical confidence level of ± 2 sigma; temperature of 23°C ($\pm 3^\circ\text{C}$); target plate albedo 1

	Inclination			
	Reference value (°)	-55.000	0.500	35.000
Calibration value* (°)	-55.000	0.503	35.001	90.503
Deviation (°)	0.000	0.003	0.001	0.003

* with statistical confidence level of ± 2 sigma; temperature of 23°C ($\pm 3^\circ\text{C}$)



Leica Geosystems AG

Markus Hammerer
 Markus Hammerer
 Program Director

Wolfram Mathis
 Wolfram Mathis
 Quality Management



Leica Geosystems AG
 Heinrich-Wild-Str.
 9435 Heersbrugg
 +41 71 727 3131
 Switzerland
 www.leica-geosystems.com

Art. No. 834025 -
 This Certificate may not be reproduced other than in full
 except with prior written approval of the issuing authority.

- when it has to be right



Leica Geosystems Calibration Certificate Blue



Calibration Certificate Blue without measurement values issued by Manufacturer

Product: DST 360 case
Article No.: 848783

Serial No./Certificate No.: 1824550096
Inspection Date: June. 11.2018

Compliance

The Calibration Certificate Blue without measurement values issued by Manufacturer corresponds to the Producer Inspection Certificate O in accordance with DIN 55 350 Part 18-4.2.1.

Certificate

We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications of the product. The test equipment used is traceable to national standards or to recognized procedures. This is established by our Quality Management System, audited and certified to ISO 9001 by an independent national accreditation authority.



Leica Geosystems AG

Thomas Grabher
Vice President DISTO™

Wolfram Mathis
Quality Management



Art. No. 745036F
This Certificate may not be reproduced other than in full except with prior written approval of the issuing authority.

Leica Geosystems AG
Hennrich-Wild-Str.
8430 Hünenegg
4411 727 3131
Switzerland
www.leica-geosystems.com

Anexo B. Reportes generados por los de equipos LEICA Geosystems (Medición de distancias por láser).

Para el Laboratorio 1-10.

Informe de plano DISTO

Nombre de la empresa: CONDUKTIVA SA
 Dirección: www.conduktiva.com
 Nombre de usuario: Manuel de la Fuente
 Posición: Lighting Engineer
 Correo electrónico: conduktiva@racsa.co.cr

conduktiva.com
 Lighting Studio

Plano: Plan 2019-09-02 074802
 Etiquetas:
 Creado el: 2019-09-02 07:48:02
 Dirección:
 Localización GPS: N 9° 56' 13" W 84° 2' 38"



Powered by Leica Geosystems

Page 1/4

Diseño 2D: Plan 2019-09-02 074802

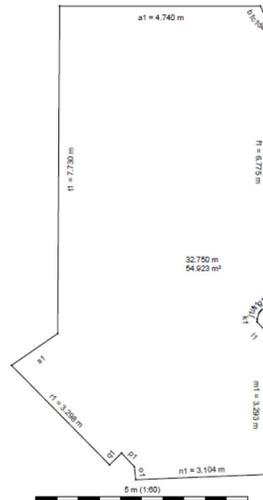


Figura 1

Tipo	Nombre	Valor	Área de pared	Descripción
Resumen				
	Área de suelo	54.923 m ²	-	-
	Área de pared	89.407 m ²	-	-
	Área de abertura	-	-	-
	Área neta de pared	89.407 m ²	-	-
	Volumen	149.939 m ³	-	-
Distancia				
	a	4.740 m	-	-
	b	0.149 m	-	-
	c	0.086 m	-	-
	d	0.116 m	-	-
	e	0.056 m	-	-
	f	6.775 m	-	-
	g	0.205 m	-	-
	h	0.049 m	-	-
	i	0.057 m	-	-
	j	0.137 m	-	-
	k	0.071 m	-	-
	l	0.414 m	-	-
	m	3.293 m	-	-
	n	3.104 m	-	-
	o	0.309 m	-	-
	p	0.441 m	-	-
	q	0.397 m	-	-
	r	3.296 m	-	-
	s	1.324 m	-	-
	t	7.730 m	-	-
	Perímetro	32.750 m	89.407 m ²	-
	Altura	2.730 m	-	-

Para el Laboratorio 1-11.

Informe de plano DISTO

Nombre de la empresa: CONDUKTIVA SA
 Dirección: www.conduktiva.com
 Nombre de usuario: Manuel de la Fuente
 Posición: lighting Engineer
 Correo electrónico: conduktiva@racsa.co.cr

conduktiva.com
 Lighting Studio

Plano: Plan 2019-09-02 090004
 Etiquetas: 2019-09-02 09:00:04
 Dirección:
 Localización GPS: N 9° 56' 13" W 84° 2' 38"



Diseño 2D: Plan 2019-09-02 090004

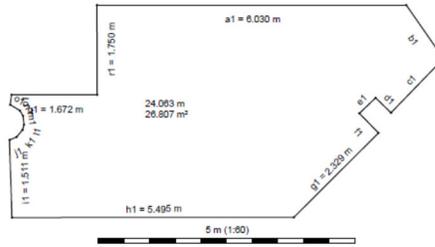


Figura 1

Tipo	Nombre	Valor	Área de pared	Descripción
Resumen				
	Área de suelo	26.807 m²	-	-
	Área de pared	64.393 m²	-	-
	Área de abertura	-	-	-
	Área neta de pared	64.393 m²	-	-
	Volumen	71.736 m³	-	-
Distancia				
	a	6.030 m	-	-
	b	1.270 m	-	-
	c	1.471 m	3.937 m²	-
	d	0.419 m	1.121 m²	-
	e	0.437 m	1.170 m²	-
	f	0.533 m	-	-
	g	2.329 m	-	-
	h	5.495 m	-	-
	i	1.511 m	-	-
	j	0.150 m	-	-
	k	0.181 m	-	-
	l	0.105 m	-	-
	m	0.172 m	-	-
	n	0.119 m	-	-
	o	0.222 m	-	-
	p	0.197 m	-	-
	q	1.672 m	-	-
	r	1.750 m	-	-
	Perímetro	24.063 m	64.393 m²	-
	Altura	2.676 m	-	-

Anexo C. Ficha técnica de la luminaria Existente en los laboratorios.



Luminaria funcional que brinda alto rendimiento y confort visual
 Functional fixture that provides high performance and visual comfort

- Oficinas / Offices
- Comercios / Commercial
- Escuelas / Schools

- Luminaria fluorescente para instalación empotrada en diferentes tipos de cielo.
- Utiliza un difusor de celdas parabólicas de 2 5/8 pulgadas de profundidad.
- Fluorescent fixture for recessed installation in different types of ceilings.
- Uses a diffuser of parabolic cells of 2" 5/8 depth.

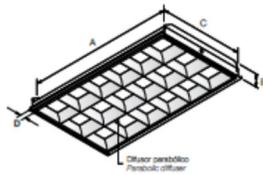
Información para ordenar / Ordering Information*

ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS							OPCIONES DE SELECCIÓN ÚNICA / SINGLE CHOICE OPTIONS				MÁS INFORMACIÓN / MORE INFO		
Modelo	Balastro	Long. tubo	Cont. Lamp.	Voltaje	Dimensión	# Celdas	REFLECTOR	BATERÍA/ BATTERY	INSTALACIÓN/ INSTALLATION	Voltaje	Consumo	Flujo Lumínico	
Model	Ballast	Tube Long	Lamp. Qty.	Wattage	Dimension	# Cells	RA	BE1T BE2T	Cielo suspendido / Suspended ceiling / Gypsum	Voltage	Consumption	Luminous Flux	
507	EO T8	24	3	17W	2x2	9	*	*	*	Multivolaje	49W	3750 lm	
			4	17W	2x2	16	*	▼	▼	Multivolaje	57W	5000 lm	
			2U	32W	2x2	9	*	*	*	Multivolaje	58W	5400 lm	
		48	48	2	32W	2x2	9	*	*	*	Multivolaje	89W	8100 lm
				2	32W	1x4	16	*	*	*	Multivolaje	58W	5400 lm
				3	32W	2x4	18	*	*	*	Multivolaje	89W	8100 lm
	EP T5		48	4	32W	2x4	32	*	*	*	Multivolaje	106W	10800 lm
				2	28W	1x4	16	*	*	*	Multivolaje	68W	3300 lm
				2	28W	2x4	12	*	*	*	Multivolaje	68W	3300 lm
				2	54W	2x4	12	*	*	*	Multivolaje	116W	8900 lm
				3	28W	2x4	18	*	*	*	Multivolaje	103W	4950 lm
				4	54W	2x4	32	*	*	*	Multivolaje	176W	13200 lm

* Batería de emergencia disponible para utilizarse con caja remota / * Emergency Battery available to be used with remote box.

Dimensiones / Dimensions (mm)

Dimensión Nominal	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
(2x2)	607	143	602	15
(1x4)	1218	143	304	15
(2x4)	1218	143	602	15



Curva Fotométrica / Photometric Curve



*Ver listado de códigos de producto en página 83 / *See list of product codes in page 83
 Para otras configuraciones, consultar con su asesor comercial. / *For other configurations, consult with your sales representative.
 Sylvania se reserva el derecho de modificar y/o cambiar este producto o sus especificaciones técnicas sin notificación previa. /
 Sylvania reserves the right to modify and/or change this product or its technical specifications without previous notification.



Descargables y otros contenidos
 Downloadables and other contents



SYLVANIA

Anexo D. Certificado de Calibración del Medidor de Iluminancia (LAFTLA).

Verificación medidor iluminancia marca Amprobe modelo LM-200 LED SN: 16121016

Código: LAFTLA-VE-002-2018

Distancia/m
1

Lecturas Ev (lux) Error sistemático = 0,2 lx

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243
Resolución	D. E. (media)		Media / lux							
	1 lx	0,0000	243							

Incertidumbre de calibración de medidor de iluminación escala 0 - 2000 lux (d = 1 m)

Nº	Fuente de incertidumbre	Valor estimado	Incer. original	Tipo Distribución	Incertidumbre Estandar u(x)	Coefficiente Sensibilidad	Contribución u(y)	(u(y)) ²
1	Repetibilidad r	243,00	0,0000	A	0,00	1	0,00	0,0000
2	Resolución	xxxx	1 lx	B. rect	0,03	1	0,03	0,0008
3	Luz extraviada L _e	0,1 lx	± 0,02 lx	B. rect	0,01	1	0,01	0,0001
4	Lámpara patrón I/cd	242,30	0,0604	B. k=2	7,32	1/1m ²	7,32	53,5452
5	Distancia d	1,00	± 5 mm	B. rect	0,00	484,6	0,00	0,0000
6	Exactitud medidor	xxxx	± 5% rdg	B. rect	12,15	1	0,01	0,0001
							7,3175	53,5463

Error =	0,600 lx	Incertidumbre combinada u _c lx	7,3175
Error relativo =	0,248%	Incertidumbre combinada relativa u _{c,r}	3,011%
		Incertidumbre combinada relativa u _{c,r} (k=2)	6,023%

$$E_{\text{rel}} = |E_c - L_{11} - J_c/d^2| = 0,600 \text{ lx} \quad E_{\text{rel}} = J_c/d^2 = 242,30 \text{ lux} \quad \text{Factor corrección } 242,10/230,43 = 0,997$$

Distancia/m
2

Lecturas Ev (lux) Error sistemático = 0,2 lx

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1
Resolución	D. E. (media)		Media / lux							
	0,1 lux	0,0000	61,1							

Incertidumbre de calibración de medidor de iluminación escala 0 - 2000 lux (d = 2 m)

Nº	Fuente de incertidumbre	Valor estimado	Incer. original	Tipo Distribución	Incertidumbre Estandar u(x)	Coefficiente Sensibilidad	Contribución u(y)	(u(y)) ²
1	Repetibilidad r	61,10	0,0000	A	0,00000	1	0,0000	0,0000
2	Resolución	xxxx	0,1 lx	B. rect	0,02887	1	0,0289	0,0008
3	Luz extraviada L _e	0,1 lx	± 0,02 lx	B. rect	0,01155	1	0,0115	0,0001
4	Lámpara patrón I/cd	242,30	0,0595	B. k=2	7,2084	1/2m ²	1,8021	3,2476
5	Distancia d	1,00	± 5 mm	B. rect	0,00289	60,575	0,00017	0,0000
6	Exactitud medidor	xxxx	± 5% rdg	B. rect	3,06	1	0,00306	0,0000
							1,8024	3,2486

Error =	0,425 lx	Incertidumbre combinada u _c lx	1,8024
Error relativo =	0,175%	Incertidumbre combinada relativa u _{c,r}	2,960%
		Incertidumbre combinada relativa u _{c,r} (k=2)	5,900%

$$E_{\text{rel}} = |E_c - L_{11} - J_c/d^2| = 0,425 \text{ lx} \quad E_{\text{rel}} = J_c/d^2 = 60,58 \text{ lux} \quad \text{Factor corrección } 59,75/56,80 = 0,991$$

Distancia/m
3

Lecturas Ev (lux) Error sistemático = 0,2 lx

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7
Resolución	D. E. (media)		Media / lux							
	0,1 lux	0,0000	26,7							

Incertidumbre de calibración de medidor de iluminación escala 0 - 2000 lux (d = 3 m)

Nº	Fuente de incertidumbre	Valor estimado	Incer. original	Tipo Distribución	Incertidumbre Estandar u(x)	Coefficiente Sensibilidad	Contribución u(y)	(u(y)) ²
1	Repetibilidad r	26,7	0,0000	A	0,00000	1	0,0000	0,0000
2	Resolución	xxxx	0,1 lx	B. rect	0,02887	1	0,0289	0,0008
3	Luz extraviada L _e	0,1 lx	± 0,02 lx	B. rect	0,01155	1	0,0115	0,0001
4	Lámpara patrón I/cd	242,30	0,0594	B. k=2	7,1963	1/1m ²	0,7996	0,6393
5	Distancia d	1,00	± 5 mm	B. rect	0,00289	17,94814815	0,00005	0,0000
6	Exactitud medidor	xxxx	± 5% rdg	B. rect	1,34	1	0,00134	0,0000
							0,8002	0,6403

Error =	0,3222 lx	Incertidumbre combinada u _c lx	0,8002
Error relativo =	0,133%	Incertidumbre combinada relativa u _{c,r}	2,997%
		Incertidumbre combinada relativa u _{c,r} (k=2)	5,994%

$$E_{\text{rel}} = |E_c - L_{11} - J_c/d^2| = 0,322 \text{ lx} \quad E_{\text{rel}} = J_c/d^2 = 26,92 \text{ lux} \quad \text{Factor corrección } 26,65/24 = 1,008$$

LAFTLA - Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica. Apartado Postal 2-10, 2060 UCR, San José, Costa Rica.
Tel: (+506) 2511 2600, Fax (+506) 2511 3920, correo electrónico: luz.marin@ucr.ac.cr

Anexo E. Ficha Técnica de la Luminaria propuesta.



RÚBICO LED

- Luminaria LED de distribución directa e indirecta para instalar de forma empotrada.
- Utiliza un difusor que combina una superficie prismática y dos opalinas, para disminuir la incidencia de la luz de manera directa y generar un ambiente muy confortable en la zona iluminada.
- LED fixture of direct and indirect lighting distribution for recessed installation.
- It uses a diffuser that combines a prismatic and two opaline surfaces, to decrease the direct incidence of light and create a comfortable environment in the illuminated area.

- Oficinas / Offices
- Hoteles / Hotels
- Escuelas / Schools
- Comercios / Commercial

Configuraciones disponibles

available configurations

ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS					OPCIONES DE SELECCIÓN ÚNICA / SINGLE CHOICE OPTIONS			MÁS INFORMACIÓN / MORE INFO				
Modelo / Model	Tipo LED / LED type	Cant. Módulos LED / Modules Qty.	Potencia (W) / Power	Flujo Lum. Total / Lum. Flux (lm)		SIX-SMART	Instalación / Installation		Datos Técnicos / Technical data	Eficacia lm/W / Efficacy		Dimensión / Dimension
				Difusor / Diffuser	Difusor / Diffuser		Cielo suspendido / Suspended ceiling	Yes / Gypsum		Difusor / Diffuser	Difusor / Diffuser	
Rúbico LED	SMD	2	18	1580	2170		•	P08423	TS	>85	>120	2x2
		2	27	2130	2950		•	P08423	TS	>75	>105	2x2
		2	32	2580	3550	SS	•	P08423	TS	>80	>110	2x2
		2	36	2920	4040	SS	•	P08423	TL	>80	>110	2x2
		2	42	3440	4770		•	P08423	TL	>80	>110	2x2
		3	39	3060	4430		•	P08423	TS	>75	>110	2x2
		3	42	3380	4950		•	P08423	TL	>80	>115	2x2
		3	52	4120	6070	SS	•	P08423	TL	>75	>115	2x2
		4	52	4550	6410	SS	•	P08369	TL	>85	>120	2x4
		4	56	4640	6510	SS	•	P08369	TS	>80	>115	2x4
		4	73	5910	8330	SS	•	P08369	TL	>80	>110	2x4
		6	78	6230	9020		•	P08369	TS	>80	>115	2x4
		6	104	8450	12370		•	P08369	TL	>80	>115	2x4

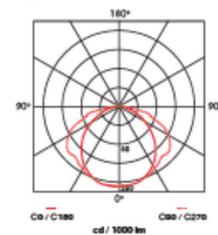
Resumen de rendimiento

Performance summary

Datos técnicos / Technical Data	TL	TS
Índice de reproducción color / Color rendering index	80 ^c	80 ^c
Capacidad de atenuación / Dimming capability	0 V - 10 V	0 V - 10 V
Voltaje de operación / Input voltage	120 V a 277 V~	120 V a 277 V~
Frecuencia de operación / Operating frequency	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Factor de potencia / Power factor	> 0.9	> 0.9
DAT en corriente / THD in current	≤20%	≤20%
Vida útil / Lifespan	L70 (12kh) = 72 000h (85°C)	L70 (10kh) = 50 000h (85°C)
CCT Disponible / CCT Available	4000 K, 5000 K, 6500 K	4000 K

Curva fotométrica

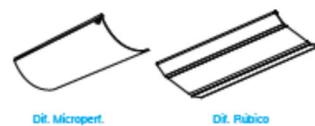
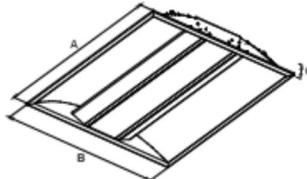
photometric curve



Dimensiones

dimensions

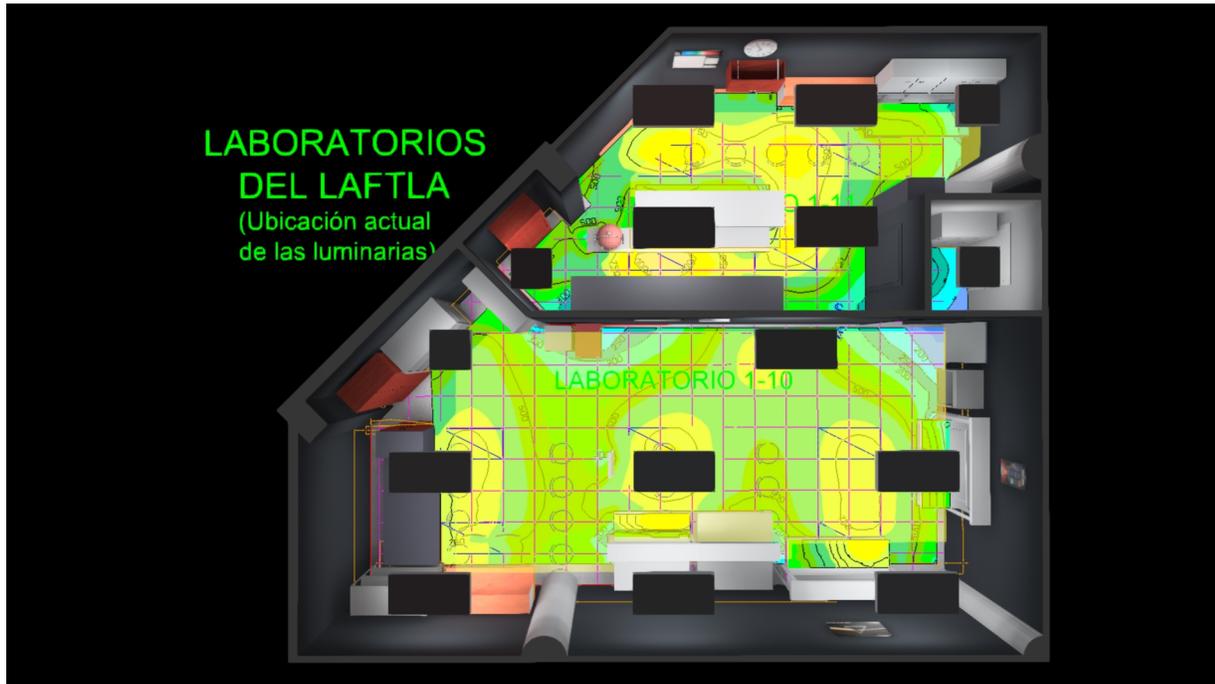
Dimensión Nominal	A (mm)	B (mm)	C (mm)
2x2	602	602	78
2x4	1216	602	78



Sylvania se reserva el derecho de modificar y/o cambiar este producto o sus especificaciones técnicas sin notificación previa. Sylvania reserves the right to modify and/or change this product or its technical specifications without previous notification.



Anexo F. Reporte Completo de la Simulación en DIALUX EVO 9.2.



Modelo de los laboratorios LAFTLA EIE UCR

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
LICENCIATURA EN INGENIERIA ELECTRICA

Evaluación y Nuevo Diseño del Sistema de Iluminación
de los Laboratorios del LAFTLA de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Por:
Manuel de la Fuente Fernández
810912

Contenido

Portada	1
Contenido	2
Descripción	4
Imágenes	5
Lista de luminarias	15

Fichas de producto

FEILO - De Empotrar/ Iluminacion General (2x SMD)	16
FEILO - De Empotrar/ Iluminacion General (2x SMD)	17
FEILO - De Empotrar/ Iluminacion General (4x SMD)	18

Terreno 1 - Edificación 1

Planta (nivel) 1

Lista de locales (Evaluación energética)	19
--	----

Terreno 1 - Edificación 1 - Planta (nivel) 1

Acceso

Resumen	22
Plano de situación de luminarias	24
Lista de luminarias	26
Objetos de cálculo	27

Terreno 1 - Edificación 1 - Planta (nivel) 1

Laboratorio 1-10

Resumen	29
Plano de situación de luminarias	31
Lista de luminarias	34
Objetos de cálculo	35
Mesa de trabajo 2 (LAB.1-10) / Iluminancia perpendicular	38
Mesa de trabajo 1 (LAB. 1-10) / Iluminancia perpendicular	39
Mesa de trabajo 3 (LAB. 1-10) / Iluminancia perpendicular	40

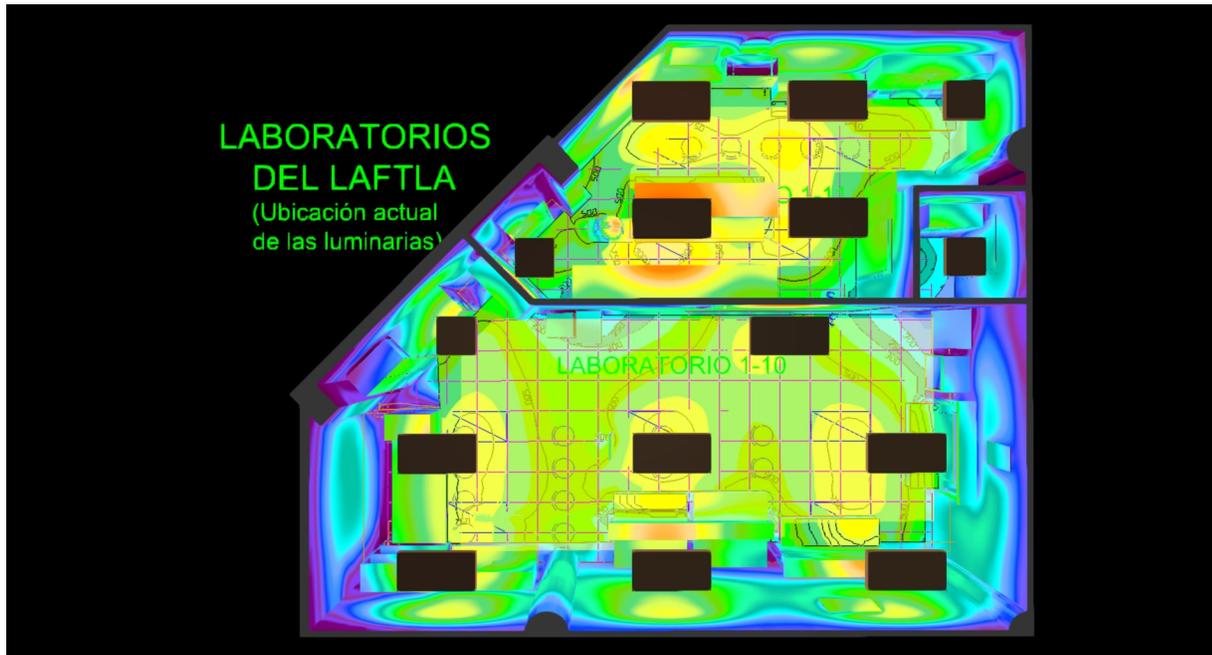
Terreno 1 - Edificación 1 - Planta (nivel) 1

Laboratorio 1-11

Resumen	41
---------------	----

Contenido

Plano de situación de luminarias	43
Lista de luminarias	46
Objetos de cálculo	47
Escritorio LDM (LAB. 1-11) / Iluminancia perpendicular	50
Escritorio asistente (LAB.1-11) / Iluminancia perpendicular	51
Banco Fotometrico (LAB. 1-11) / Iluminancia perpendicular	52
Glosario	53



Descripción

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
LICENCIATURA EN INGENIERIA ELECTRICA

Evaluación y Nuevo Diseño del Sistema de Iluminación
de los Laboratorios del LAFTLA de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Por:
Manuel de la Fuente Fernández
810912

Imágenes

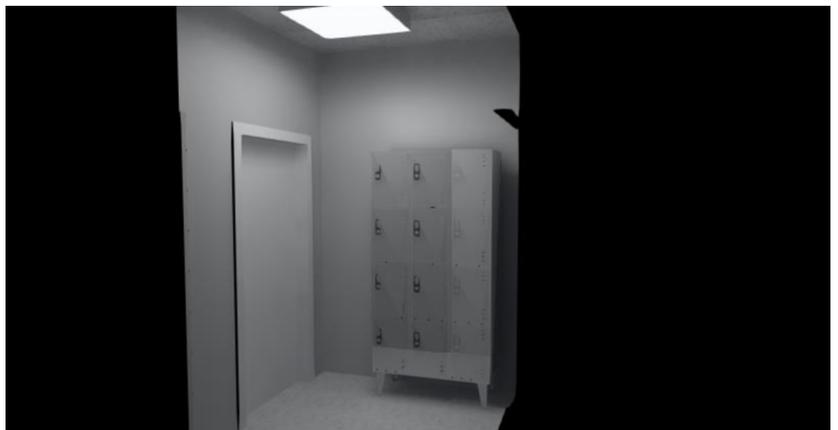
Acceso

Vista 1



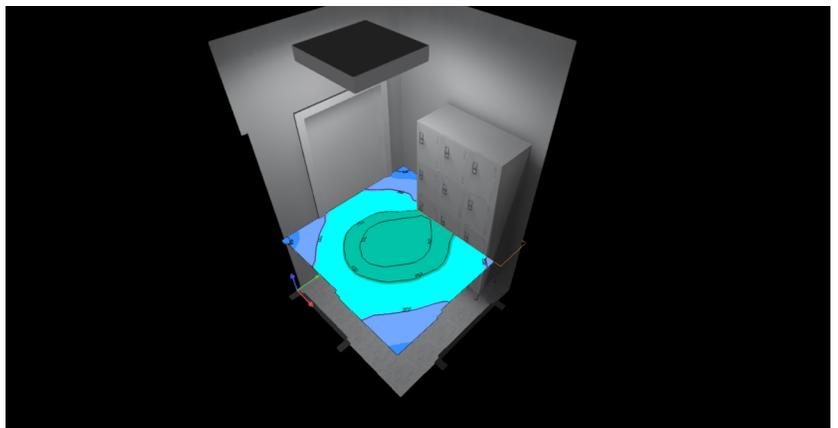
Acceso

Render



Acceso

Curvas Isolux (Plano Util)



Imágenes

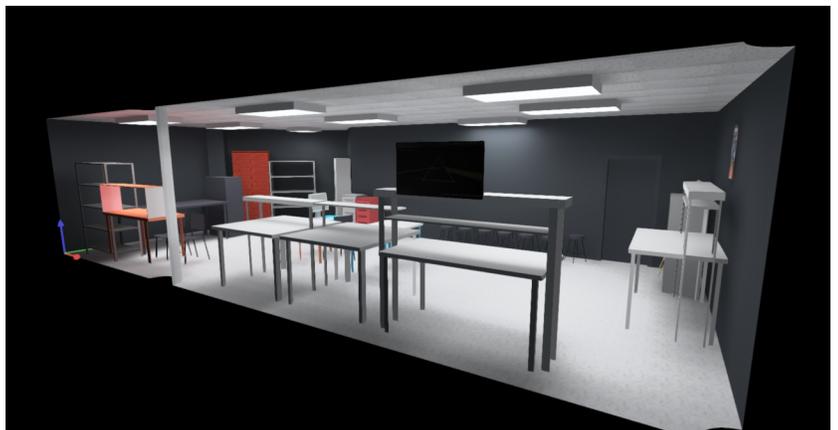
Laboratorio 1-10

Vista 1



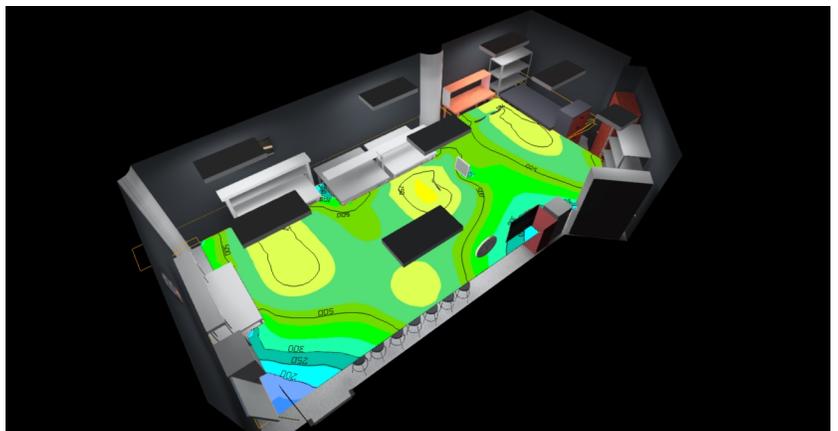
Laboratorio 1-10

Vista 2



Laboratorio 1-10

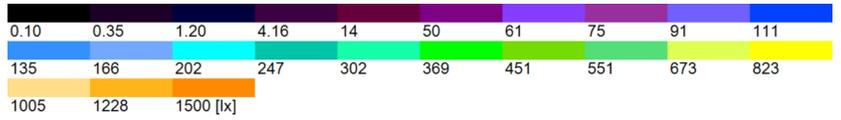
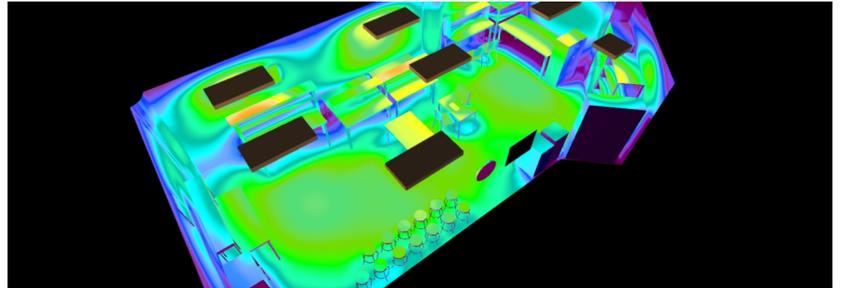
Curvas Isolux y colores falsos en Plano Util



Imágenes

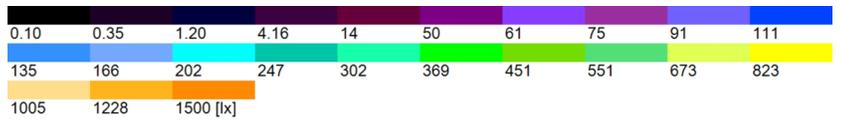
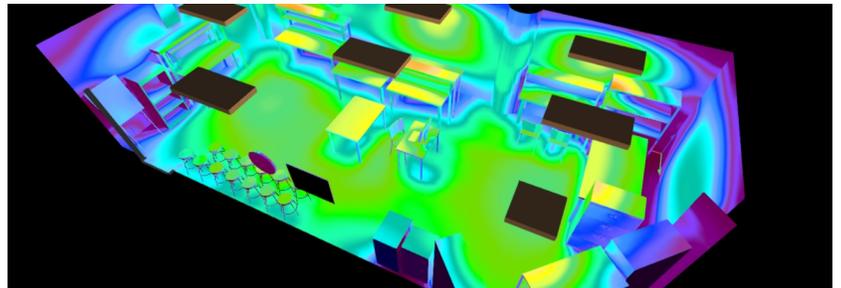
Laboratorio 1-10

Colores Falsos 1



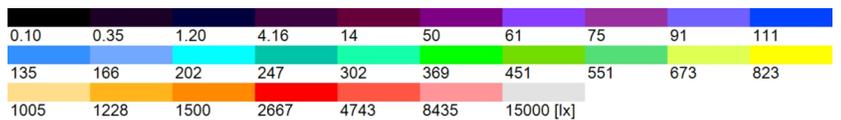
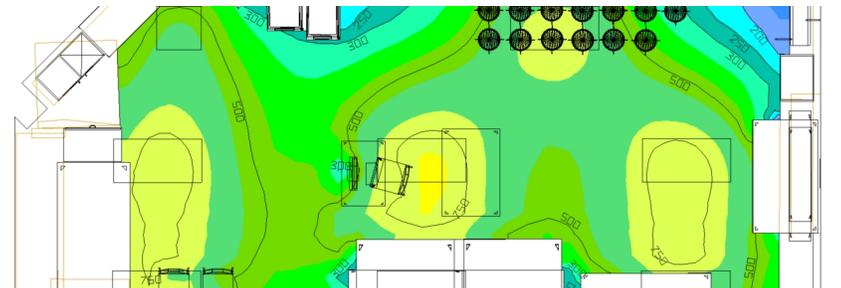
Laboratorio 1-10

Colores Falsos 2



Laboratorio 1-10

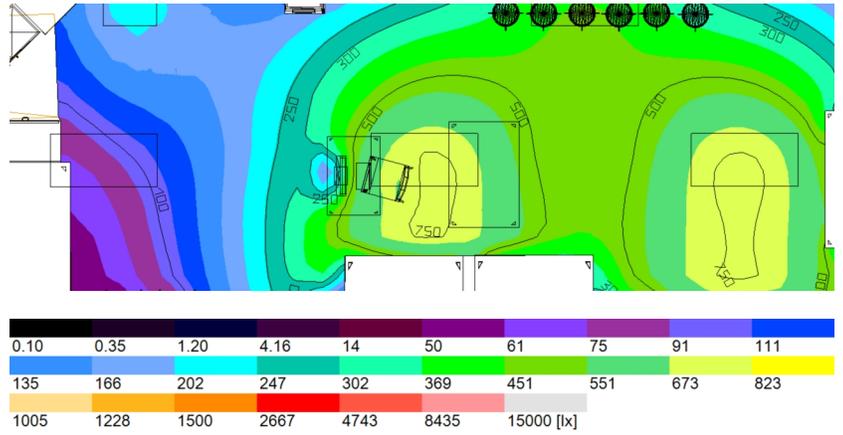
Curvas isolux plano util
Escena Todo Encendido



Imágenes

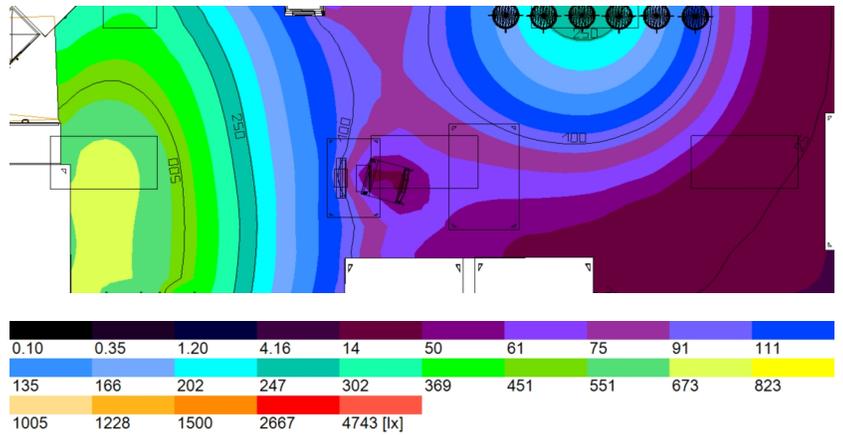
Laboratorio 1-10

Curvas isolux plano util
Escena En Clases



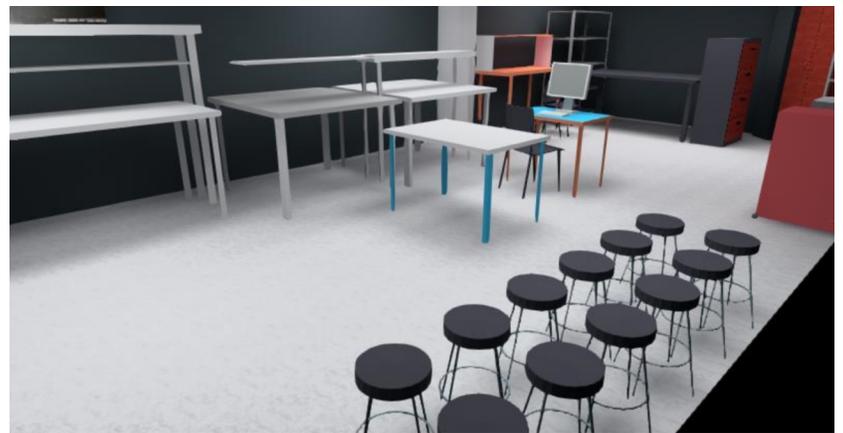
Laboratorio 1-10

Curvas isolux plano util
Escena Proyecto Espacial



Laboratorio 1-10

Render 1



Imágenes

Laboratorio 1-10

Render 2



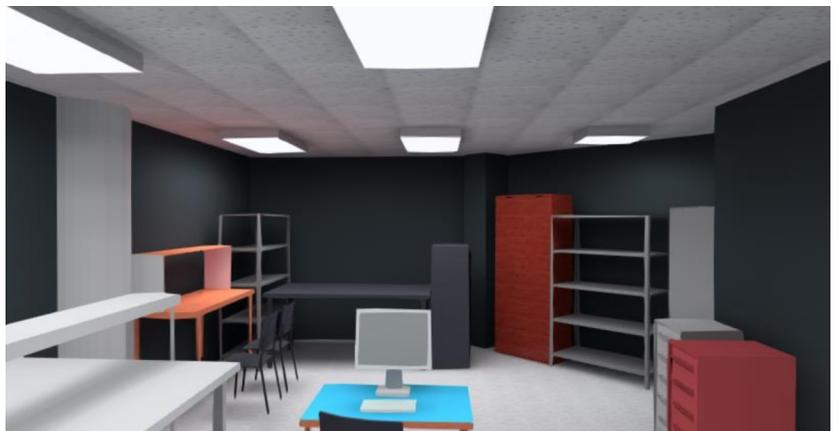
Laboratorio 1-10

Render 3



Laboratorio 1-10

Render 4



Imágenes

Laboratorio 1-10

Render 5



Laboratorio 1-11

Vista 1



Laboratorio 1-11

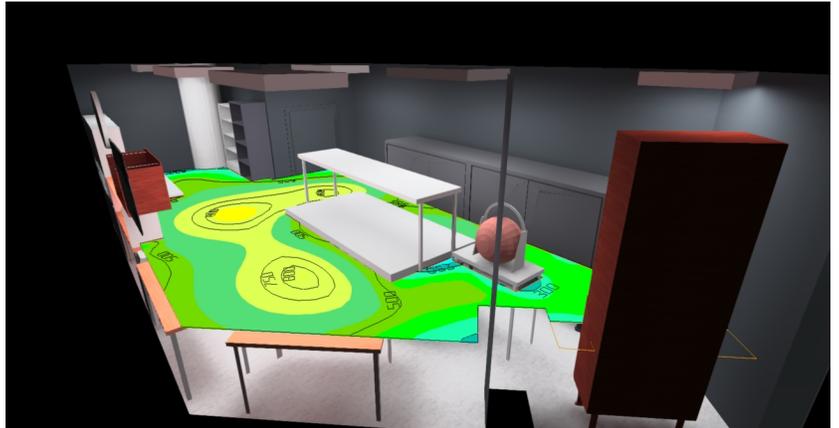
Vista 2



Imágenes

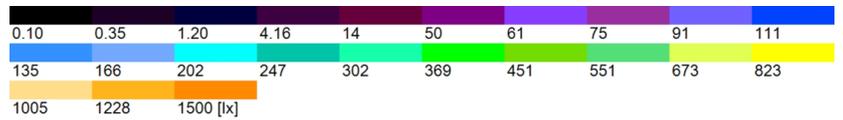
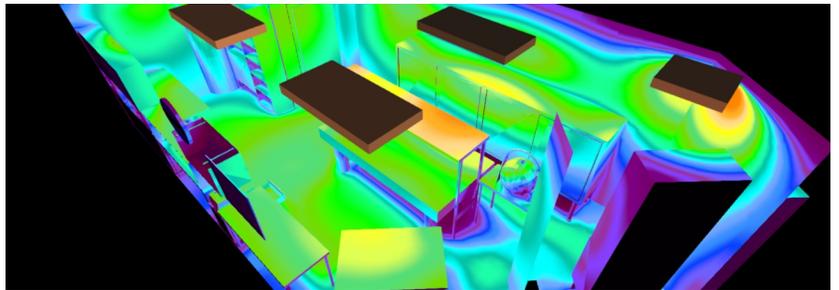
Laboratorio 1-11

Curvas Isolux y colores falsos en Plano Util



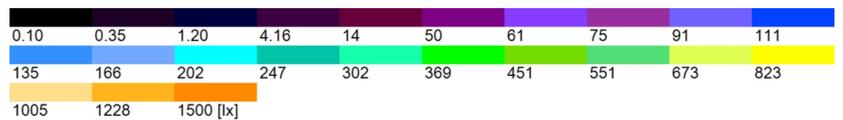
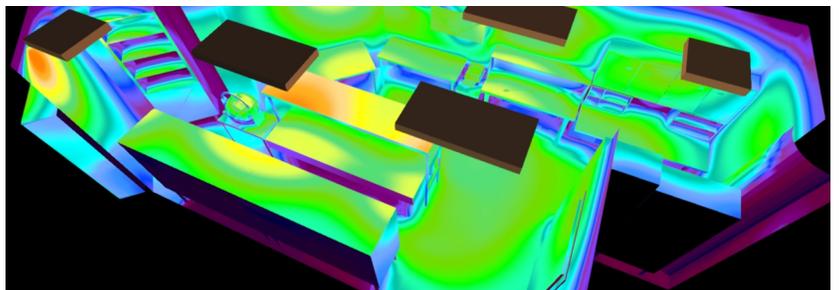
Laboratorio 1-11

Colores Falsos 1



Laboratorio 1-11

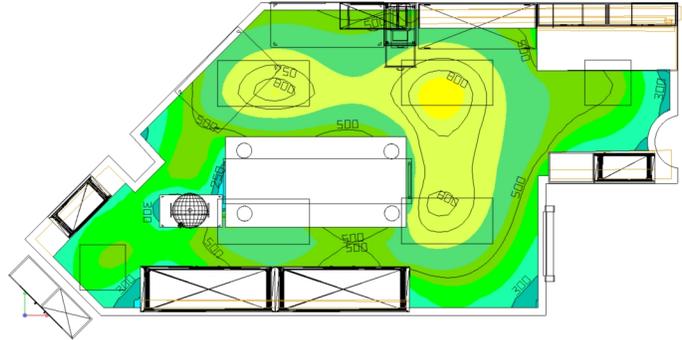
Colores Falsos 2



Imágenes

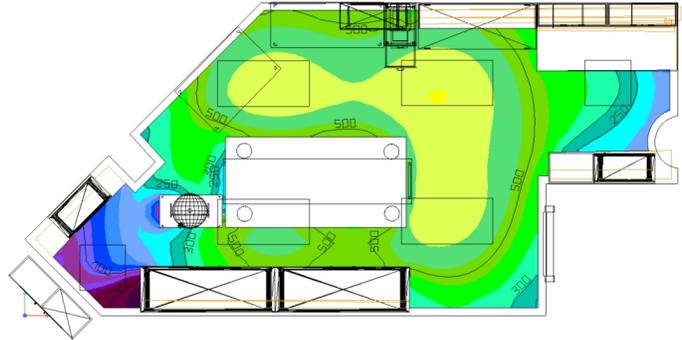
Laboratorio 1-11 (241)

Curvas Isolux y colores flasos plano util
Escena Todo Encendido



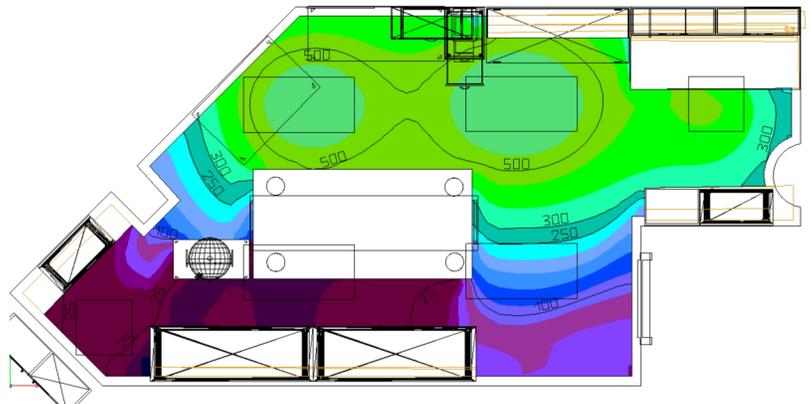
Laboratorio 1-11 (242)

Curvas Isolux y colores flasos plano util
Escena En Clases



Laboratorio 1-11

Curvas Isolux y colores flasos plano util
Escena Trabajo de Escritorio



Imágenes

Laboratorio 1-11

Render 1



Laboratorio 1-11

Render 2



Laboratorio 1-11

Render 3



Imágenes

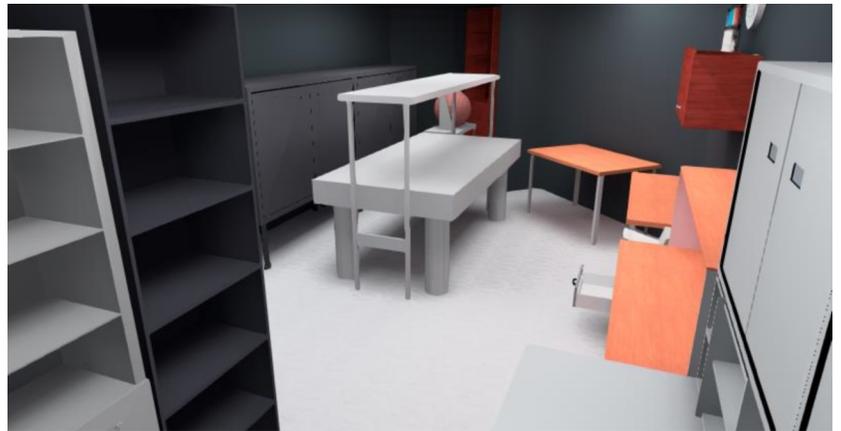
Laboratorio 1-11

Render 4



Laboratorio 1-11

Render 5



Lista de luminarias

Φ_{total}
89765 lm

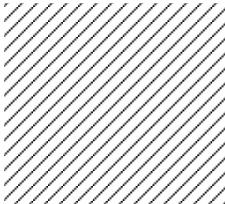
P_{total}
739.5 W

Rendimiento lumínico
121.4 lm/W

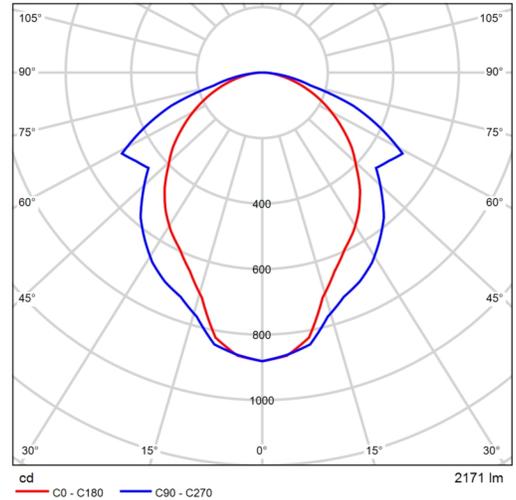
1	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 2170 lm 18W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	19.5 W	2171 lm	111.5 lm/W
3	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	32.0 W	3558 lm	111.3 lm/W
12	FEILO	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL	De Empotrar/ Iluminacion General	52.0 W	6411 lm	123.3 lm/W

Ficha de producto

FEILO De Empotrar/ Iluminacion General



N° de artículo	UL Rubico LED 2x2 2 2170 lm 18W Dif 9 Emp TS
P	19.5 W
ΦLuminaria	2171 lm
Rendimiento lumínico	111.5 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



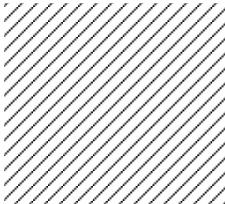
CDL polar

Valoración de deslumbramiento según UGR											
		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ	Techo	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρ	Paredes	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ρ	Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local		Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
X	Y										
2H	2H	13.5	14.9	13.8	15.1	15.4	16.1	17.5	16.4	17.7	18.0
	3H	14.9	16.1	15.2	16.4	16.7	18.1	19.4	18.5	19.7	19.9
	4H	15.4	16.6	15.8	16.9	17.2	18.7	19.9	19.0	20.1	20.4
	6H	15.8	16.9	16.2	17.3	17.6	19.0	20.1	19.3	20.4	20.7
	8H	16.0	17.0	16.3	17.3	17.7	19.0	20.1	19.4	20.4	20.8
4H	12H	16.0	17.1	16.4	17.4	17.7	19.1	20.1	19.5	20.4	20.8
	2H	14.8	16.0	15.1	16.2	16.5	16.7	17.9	17.0	18.2	18.4
	3H	16.4	17.4	16.7	17.7	18.1	18.9	20.0	19.3	20.3	20.6
	4H	17.1	18.0	17.5	18.3	18.7	19.6	20.5	20.0	20.9	21.2
	6H	17.6	18.4	18.0	18.8	19.2	20.0	20.8	20.4	21.2	21.6
8H	8H	17.7	18.5	18.2	18.9	19.3	20.1	20.9	20.6	21.3	21.7
	12H	17.8	18.5	18.3	18.9	19.4	20.2	20.9	20.6	21.3	21.7
	4H	17.7	18.4	18.1	18.8	19.3	19.8	20.6	20.3	21.0	21.4
	6H	18.4	19.0	18.8	19.4	19.9	20.4	21.0	20.8	21.4	21.9
	8H	18.6	19.2	19.1	19.6	20.1	20.6	21.1	21.0	21.5	22.0
12H	12H	18.8	19.2	19.3	19.7	20.2	20.7	21.1	21.2	21.6	22.1
	4H	17.7	18.4	18.2	18.8	19.3	19.8	20.5	20.3	20.9	21.4
	6H	18.5	19.0	19.0	19.5	19.9	20.4	20.9	20.9	21.4	21.9
	8H	18.8	19.2	19.3	19.7	20.2	20.6	21.1	21.1	21.6	22.1
	8H	18.8	19.2	19.3	19.7	20.2	20.6	21.1	21.1	21.6	22.1
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H		+0.1 / -0.2					+0.2 / -0.2				
S = 1.5H		+0.2 / -0.3					+0.3 / -0.2				
S = 2.0H		+0.4 / -0.7					+0.5 / -0.4				
Tabla estándar		BK06					BK06				
Sumando de corrección		1.1					3.6				
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 2171lm Flujo luminoso total											

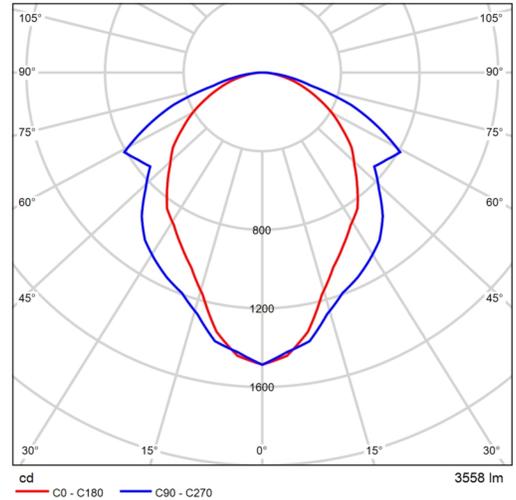
Diagrama UGR (SHR: 0.25)

Ficha de producto

FEILO De Empotrar/ Iluminacion General



Nº de artículo	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS
P	32.0 W
Φ _{Luminaria}	3558 lm
Rendimiento lumínico	111.3 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



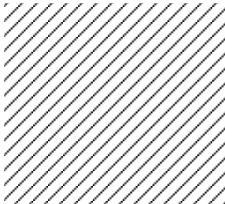
CDL polar

Valoración de deslumbramiento según UGR													
		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30		
ρ	Techo	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30		
ρ	Paredes	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
ρ	Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
Tamaño del local	Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara						
X		2H	3H	4H	6H	8H	12H	2H	3H	4H	6H	8H	12H
2H	2H	15.3	16.6	15.6	16.9	17.1	17.8	19.2	18.1	19.4	19.7	19.7	19.7
	3H	16.6	17.8	16.9	18.1	18.4	19.8	21.1	20.2	21.4	21.6	21.6	21.6
	4H	17.2	18.3	17.5	18.6	18.9	20.4	21.6	20.7	21.8	22.1	22.1	22.1
	6H	17.5	18.7	17.9	19.0	19.3	20.7	21.8	21.0	22.1	22.4	22.4	22.4
	8H	17.7	18.7	18.0	19.0	19.4	20.7	21.8	21.1	22.1	22.5	22.5	22.5
	12H	17.7	18.8	18.1	19.1	19.4	20.8	21.8	21.2	22.1	22.5	22.5	22.5
4H	2H	16.5	17.7	16.8	18.0	18.3	18.4	19.6	18.7	19.9	20.2	20.2	20.2
	3H	18.1	19.1	18.5	19.4	19.8	20.6	21.7	21.0	22.0	22.3	22.3	22.3
	4H	18.8	19.7	19.2	20.0	20.4	21.3	22.2	21.7	22.6	22.9	22.9	22.9
	6H	19.3	20.1	19.7	20.5	20.9	21.7	22.5	22.1	22.9	23.3	23.3	23.3
	8H	19.4	20.2	19.9	20.6	21.0	21.8	22.6	22.3	23.0	23.4	23.4	23.4
	12H	19.5	20.2	20.0	20.6	21.1	21.9	22.6	22.3	23.0	23.4	23.4	23.4
8H	4H	19.4	20.1	19.8	20.5	21.0	21.5	22.3	22.0	22.7	23.1	23.1	23.1
	6H	20.1	20.7	20.5	21.1	21.6	22.1	22.7	22.5	23.1	23.6	23.6	23.6
	8H	20.3	20.9	20.8	21.3	21.8	22.3	22.8	22.7	23.2	23.7	23.7	23.7
	12H	20.5	20.9	21.0	21.4	21.9	22.4	22.8	22.9	23.3	23.8	23.8	23.8
12H	4H	19.4	20.1	19.9	20.5	21.0	21.5	22.2	22.0	22.6	23.1	23.1	23.1
	6H	20.2	20.7	20.6	21.2	21.6	22.1	22.6	22.6	23.1	23.6	23.6	23.6
	8H	20.5	20.9	21.0	21.4	21.9	22.3	22.8	22.8	23.3	23.8	23.8	23.8
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias													
S = 1.0H		+0.1 / -0.2					+0.2 / -0.2						
S = 1.5H		+0.2 / -0.3					+0.3 / -0.2						
S = 2.0H		+0.4 / -0.7					+0.5 / -0.4						
Tabla estándar		BK06					BK06						
Sumando de corrección		2.8					5.3						
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 3558lm Flujo luminoso total													

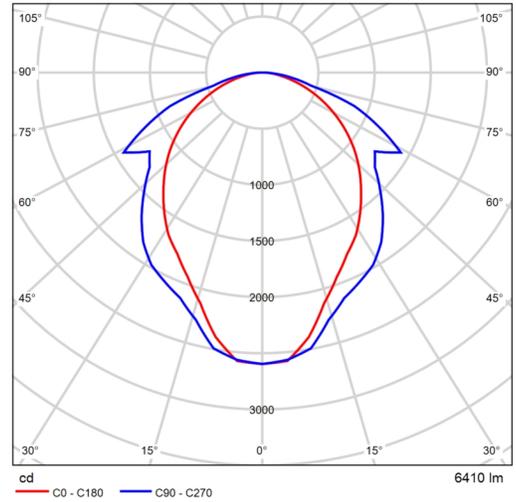
Diagrama UGR (SHR: 0.25)

Ficha de producto

FEILO De Empotrar/ Iluminacion General



Nº de artículo	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL
P	52.0 W
Φ _{Luminaria}	6411 lm
Rendimiento lumínico	123.3 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



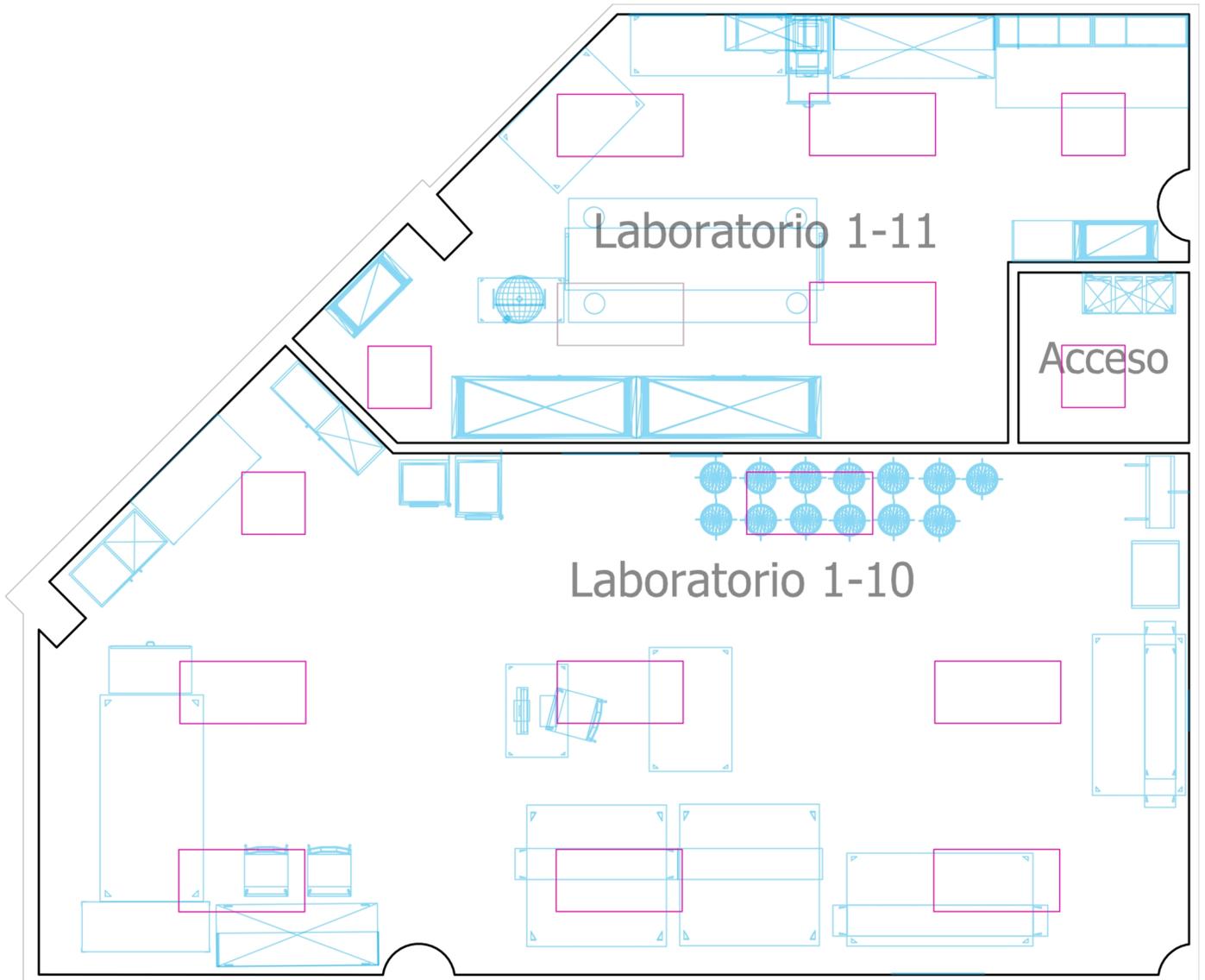
CDL polar

Valoración de deslumbramiento según UGR											
ρ	Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ	Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρ	Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local X Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
2H	2H	15.0	16.4	15.3	16.6	16.9	17.2	18.6	17.5	18.8	19.1
	3H	16.4	17.6	16.7	17.9	18.2	19.4	20.6	19.7	20.9	21.2
	4H	16.9	18.1	17.3	18.4	18.7	19.9	21.1	20.3	21.4	21.7
	6H	17.3	18.5	17.7	18.8	19.1	20.2	21.3	20.6	21.6	22.0
	8H	17.5	18.5	17.8	18.9	19.2	20.3	21.4	20.7	21.7	22.0
4H	12H	17.5	18.6	17.9	18.9	19.2	20.4	21.4	20.8	21.7	22.1
	2H	16.2	17.4	16.5	17.7	18.0	17.8	19.0	18.2	19.3	19.6
	3H	17.8	18.8	18.2	19.2	19.5	20.2	21.2	20.6	21.6	21.9
	4H	18.5	19.5	18.9	19.8	20.2	20.9	21.8	21.3	22.2	22.5
	6H	19.1	19.9	19.5	20.3	20.7	21.3	22.1	21.7	22.5	22.9
8H	8H	19.3	20.0	19.7	20.4	20.9	21.5	22.2	21.9	22.6	23.0
	12H	19.4	20.1	19.8	20.5	20.9	21.6	22.2	22.0	22.7	23.1
	4H	19.2	20.0	19.7	20.4	20.8	21.2	21.9	21.6	22.3	22.7
	6H	20.0	20.6	20.4	21.0	21.5	21.7	22.3	22.2	22.8	23.2
	8H	20.3	20.8	20.7	21.3	21.7	21.9	22.5	22.4	22.9	23.4
12H	12H	20.5	20.9	21.0	21.4	21.9	22.1	22.6	22.6	23.0	23.5
	4H	19.3	20.0	19.7	20.4	20.8	21.2	21.9	21.6	22.3	22.7
	6H	20.1	20.6	20.6	21.1	21.6	21.8	22.3	22.2	22.8	23.2
8H	20.4	20.9	20.9	21.4	21.9	22.0	22.5	22.5	23.0	23.5	
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H		+0.1 / -0.2					+0.2 / -0.2				
S = 1.5H		+0.2 / -0.3					+0.2 / -0.3				
S = 2.0H		+0.4 / -0.6					+0.5 / -0.4				
Tabla estándar		BK06					BK06				
Sumando de corrección		2.6					4.8				
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 6410lm Flujo luminoso total											

Diagrama UGR (SHR: 0.25)

Edificación 1 · Planta (nivel) 1

Lista de locales (Evaluación energética)



Edificación 1 · Planta (nivel) 1

Lista de locales (Evaluación energética)

Acceso

P_{total} 19.5 W	A_{Local} 2.72 m ²	Potencia específica de conexión 7.16 W/m ² = 3.12 W/m ² /100 lx (Local) 8.44 W/m ² = 3.68 W/m ² /100 lx (Plano útil)	E_{perpendicular} (Plano útil) 229 lx
------------------------------------	---	---	---

1	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 2170 lm 18W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	19.5 W	2171 lm
---	-------	---	----------------------------------	--------	---------

Laboratorio 1-10

P_{total} 396.0 W	A_{Local} 55.97 m ²	Potencia específica de conexión 7.08 W/m ² = 1.26 W/m ² /100 lx (Local) 11.68 W/m ² = 2.08 W/m ² /100 lx (Plano útil)	E_{perpendicular} (Plano útil) 560 lx
-------------------------------------	--	--	---

1	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	32.0 W	3558 lm
---	-------	---	----------------------------------	--------	---------

7	FEILO	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL	De Empotrar/ Iluminacion General	52.0 W	6411 lm
---	-------	---	----------------------------------	--------	---------

Edificación 1 · Planta (nivel) 1

Lista de locales (Evaluación energética)

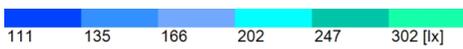
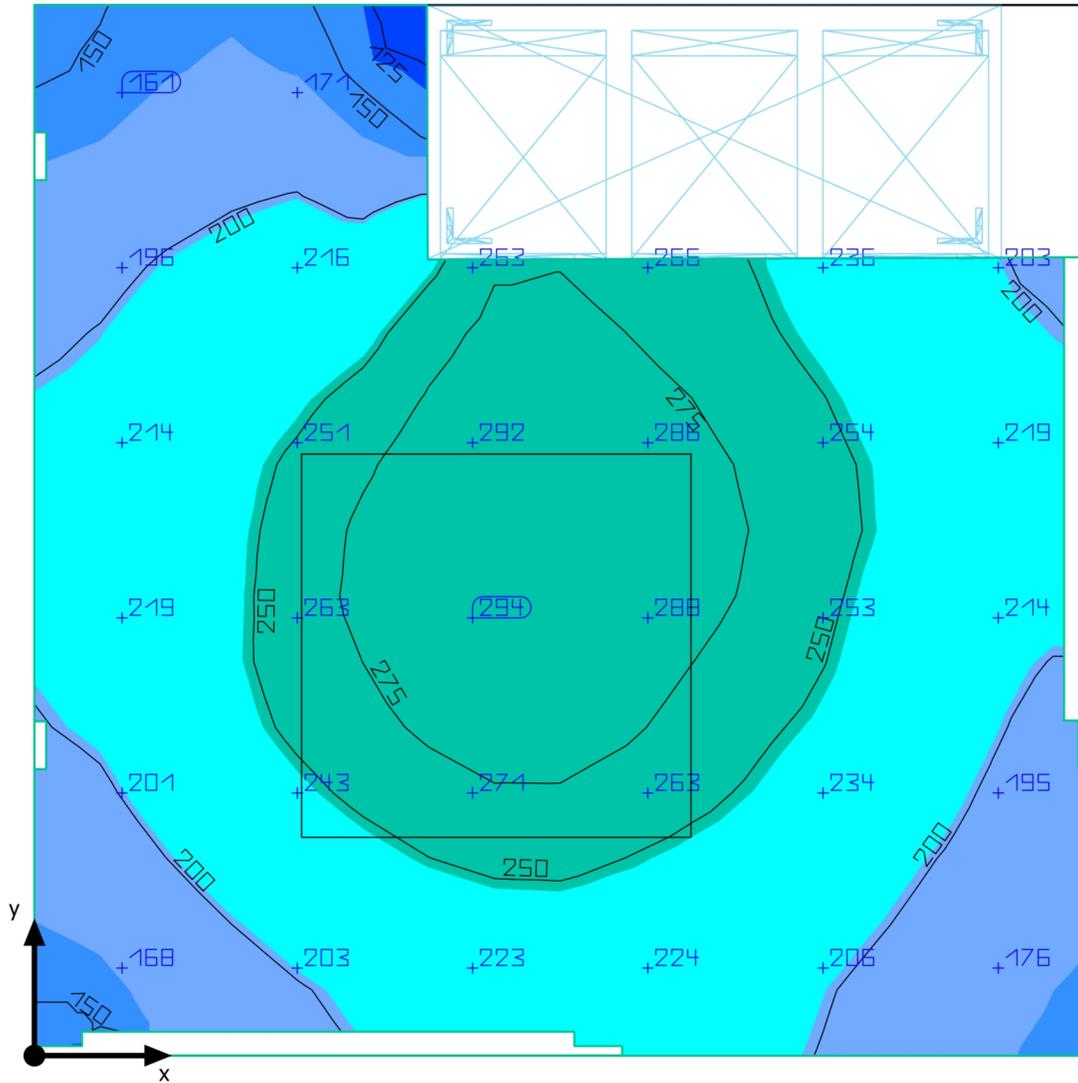
Laboratorio 1-11

P_{total} 272.0 W	A_{Local} 27.12 m ²	Potencia específica de conexión 10.03 W/m ² = 1.77 W/m ² /100 lx (Local) 16.16 W/m ² = 2.85 W/m ² /100 lx (Plano útil)	E_{perpendicular} (Plano útil) 566 lx
-------------------------------------	--	---	---

2	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	32.0 W	3558 lm
4	FEILO	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL	De Empotrar/ Iluminacion General	52.0 W	6411 lm

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Acceso

Resumen



Base: 2.72 m² | Grado de reflexión: Techo: 65.0 %, Paredes: 50.0 %, Suelo: 56.0 % | Factor de degradación: 0.80 (Global) | Altura interior del local: 2.700 m | Altura de montaje: 2.700 m

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Acceso

Resumen

Resultados

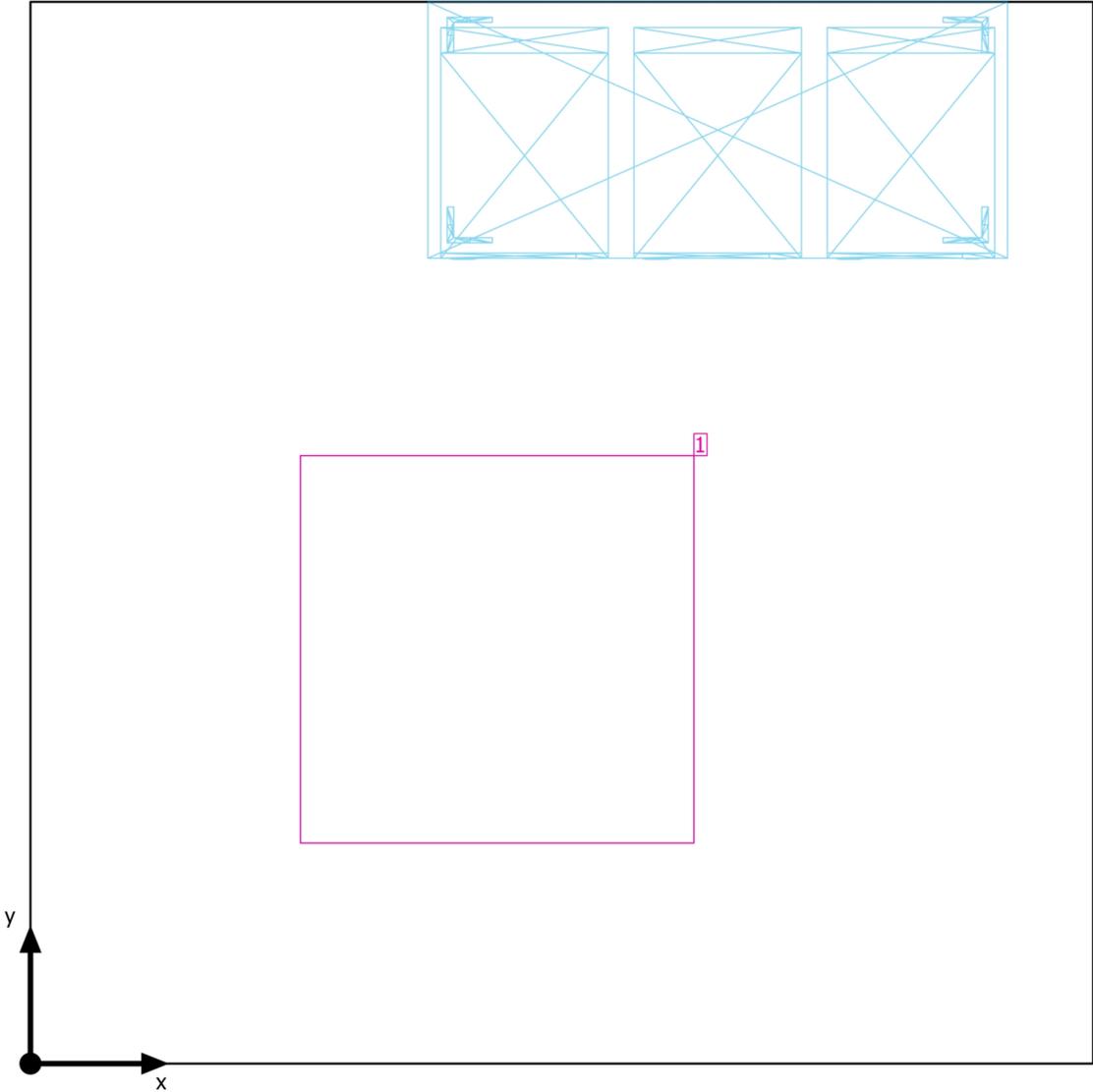
	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{perpendicular}}$	229 lx	≥ 200 lx	✓	S4
	g_1	0.55	-	-	S4
Valores de consumo	Consumo	37 kWh/a	máx. 100 kWh/a	✓	
Potencia específica de conexión	Local	7.16 W/m ²	-	-	
		3.12 W/m ² /100 lx	-	-	
	Plano útil	8.44 W/m ²	-	-	
		3.68 W/m ² /100 lx	-	-	

Perfil de uso: Áreas públicas - Áreas generales, Guardarropías

Lista de luminarias

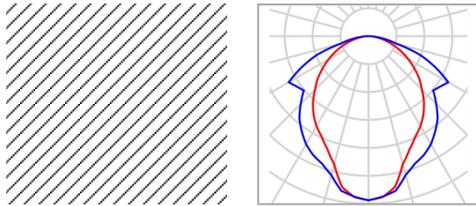
Uni.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
1	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 2170 lm 18W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	19.5 W	2171 lm	111.5 lm/W

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Acceso
Plano de situación de luminarias



Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Acceso

Plano de situación de luminarias



Fabricante	FEILO
N° de artículo	UL Rubico LED 2x2 2 2170 lm 18W Dif 9 Emp TS
Nombre del artículo	De Empotrar/ Iluminacion General

Luminarias individuales

X	Y	Altura de montaje	Luminaria
0.725 m	0.644 m	2.700 m	1

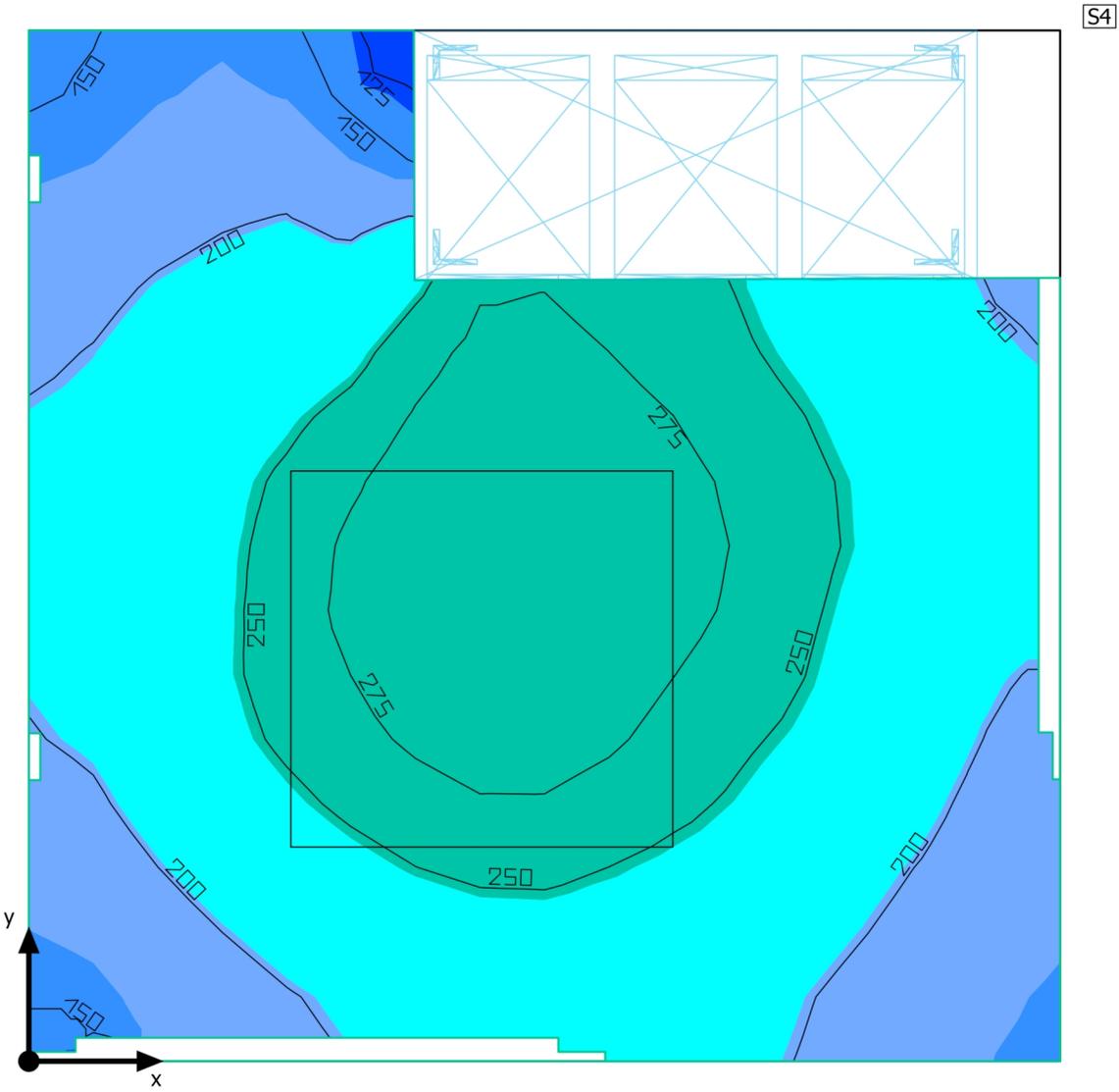
Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Acceso

Lista de luminarias

Φ_{total} 2171 lm	P_{total} 19.5 W	Rendimiento lumínico 111.3 lm/W
---------------------------	-----------------------	------------------------------------

1	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 2170 lm 18W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	19.5 W	2171 lm	111.5 lm/W
---	-------	---	----------------------------------	--------	---------	------------

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Acceso
Objetos de cálculo



Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Acceso

Objetos de cálculo

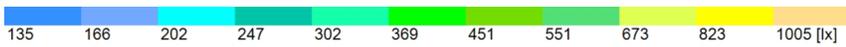
Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Plano útil (Acceso) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	229 lx (≥ 200 lx) 	125 lx	300 lx	0.55	0.42	<input type="checkbox"/>

Perfil de uso: Áreas públicas - Áreas generales, Guardarropías

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Resumen



Base: 55.97 m² | Grado de reflexión: Techo: 65.0 %, Paredes: 6.0 %, Suelo: 56.0 % | Factor de degradación: 0.80 (Global) | Altura interior del local: 2.700 m | Altura de montaje: 2.700 m

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Resumen

Resultados

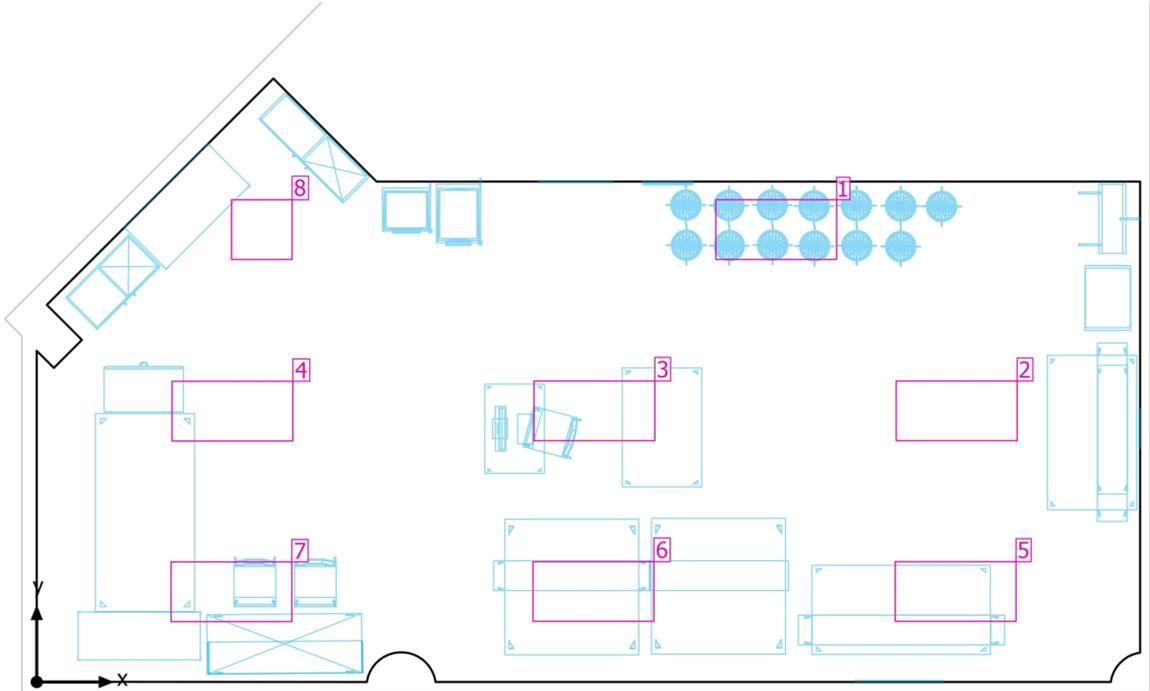
	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{perpendicular}}$	560 lx	≥ 500 lx	✓	S6
	g_1	0.27	-	-	S6
Valores de consumo	Consumo	530 kWh/a	máx. 2000 kWh/a	✓	
Potencia específica de conexión	Local	7.08 W/m ²	-	-	
		1.26 W/m ² /100 lx	-	-	
	Plano útil	11.68 W/m ²	-	-	
		2.08 W/m ² /100 lx	-	-	

Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Lista de luminarias

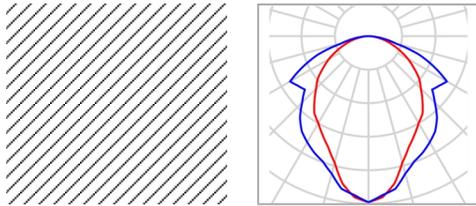
Uni.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
1	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	32.0 W	3558 lm	111.3 lm/W
7	FEILO	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL	De Empotrar/ Iluminacion General	52.0 W	6411 lm	123.3 lm/W

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10
Plano de situación de luminarias



Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Plano de situación de luminarias



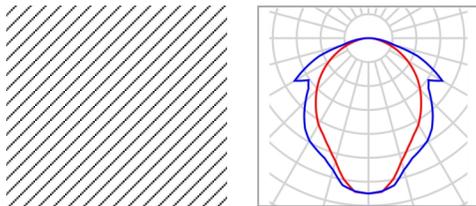
Fabricante	FEILO
N° de artículo	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS
Nombre del artículo	De Empotrar/ Iluminacion General

Luminarias individuales

X	Y	Altura de montaje	Luminaria
2.270 m	4.566 m	2.700 m	8

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Plano de situación de luminarias



Fabricante	FEILO
N° de artículo	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL
Nombre del artículo	De Empotrar/ Iluminacion General

Luminarias individuales

X	Y	Altura de montaje	Luminaria
7.456 m	4.566 m	2.700 m	1
9.275 m	2.736 m	2.700 m	2
5.623 m	2.736 m	2.700 m	3
1.973 m	2.734 m	2.700 m	4
9.265 m	0.914 m	2.700 m	5
5.613 m	0.914 m	2.700 m	6
1.963 m	0.911 m	2.700 m	7

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Lista de luminarias

Φ_{total} 48428 lm	P_{total} 396.0 W	Rendimiento lumínico 122.3 lm/W
----------------------------	------------------------	------------------------------------

1	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	32.0 W	3558 lm	111.3 lm/W
7	FEILO	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL	De Empotrar/ Iluminacion General	52.0 W	6411 lm	123.3 lm/W

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Objetos de cálculo



Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Plano útil (Laboratorio 1-10) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.100 m	560 lx (≥ 500 lx) 	149 lx	842 lx	0.27	0.18	<input type="checkbox"/>

Superficie de cálculo

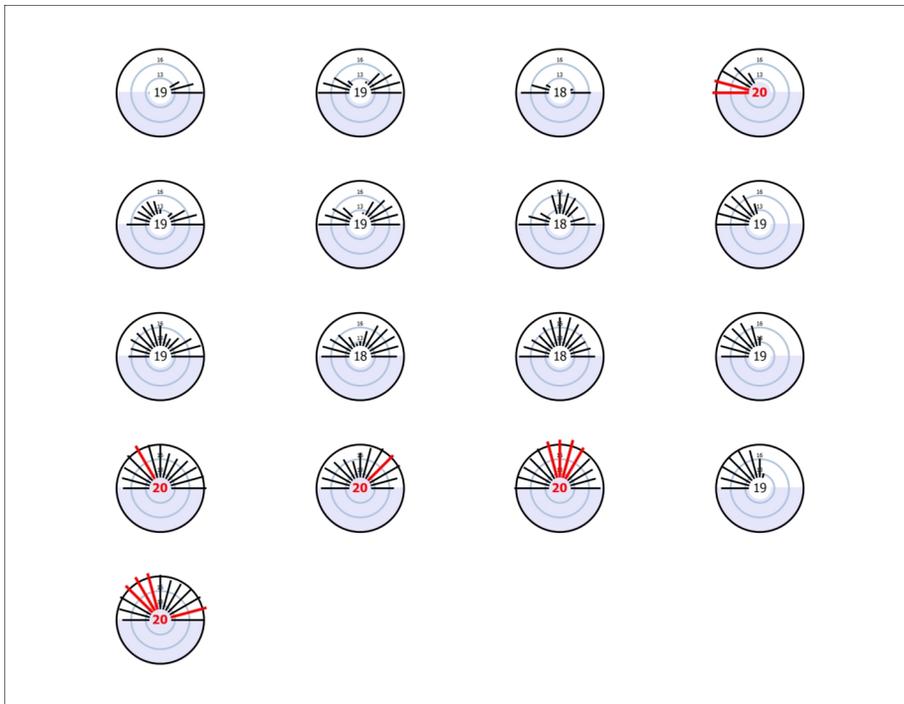
Propiedades	\bar{E}	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Mesa de trabajo 2 (LAB.1-10) Iluminancia perpendicular Altura: 0.970 m	689 lx	401 lx	873 lx	0.58	0.46	<input type="checkbox"/>
Mesa de trabajo 1 (LAB. 1-10) Iluminancia perpendicular Altura: 0.980 m	434 lx	323 lx	538 lx	0.74	0.60	<input type="checkbox"/>
Mesa de trabajo 3 (LAB. 1-10) Iluminancia perpendicular Altura: 0.970 m	730 lx	420 lx	896 lx	0.58	0.47	<input type="checkbox"/>

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Objetos de cálculo

UGR (LABORATORIO 1-10) (UGR)

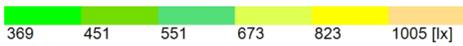
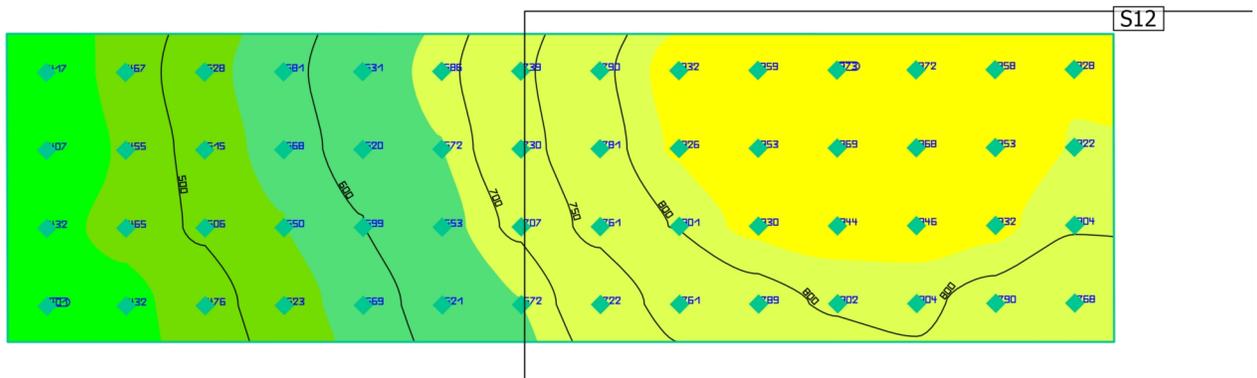
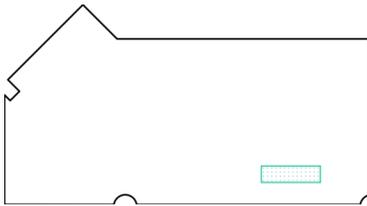
Máx. deslumbramiento a	75°
máx	20.2
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 180°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	S8



Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Mesa de trabajo 2 (LAB.1-10)

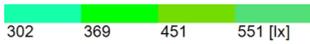
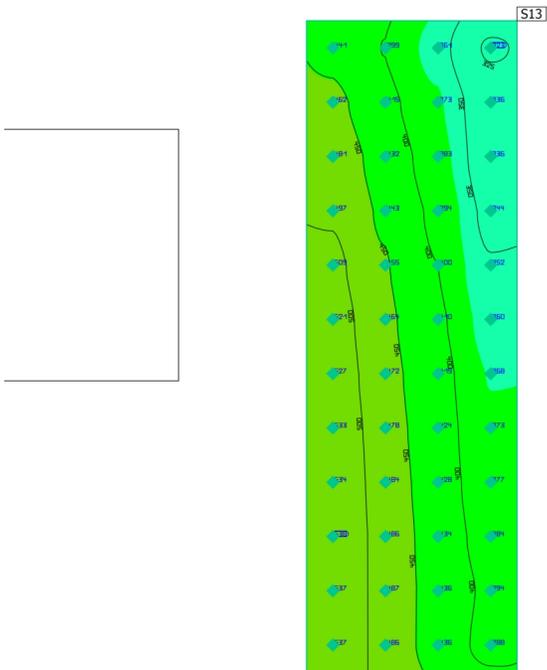
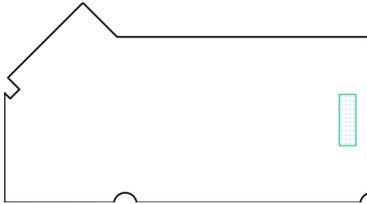


Propiedades	\bar{E}	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Mesa de trabajo 2 (LAB.1-10) Iluminancia perpendicular Altura: 0.970 m	689 lx	401 lx	873 lx	0.58	0.46	S12

Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Mesa de trabajo 1 (LAB. 1-10)

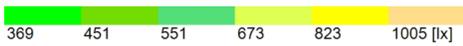
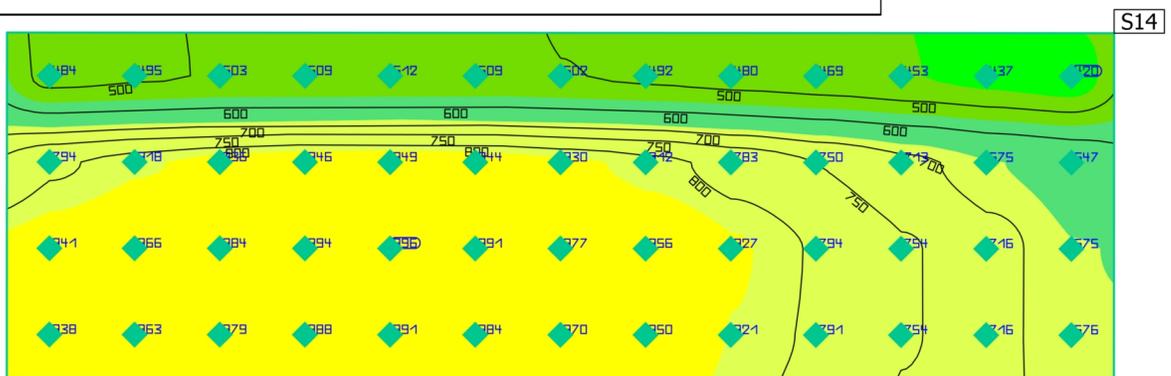
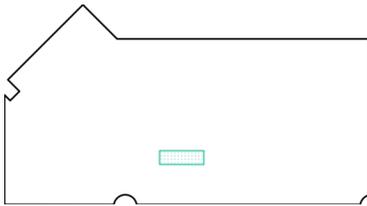


Propiedades	\bar{E}	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Mesa de trabajo 1 (LAB. 1-10) Iluminancia perpendicular Altura: 0.980 m	434 lx	323 lx	538 lx	0.74	0.60	S13

Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-10

Mesa de trabajo 3 (LAB. 1-10)

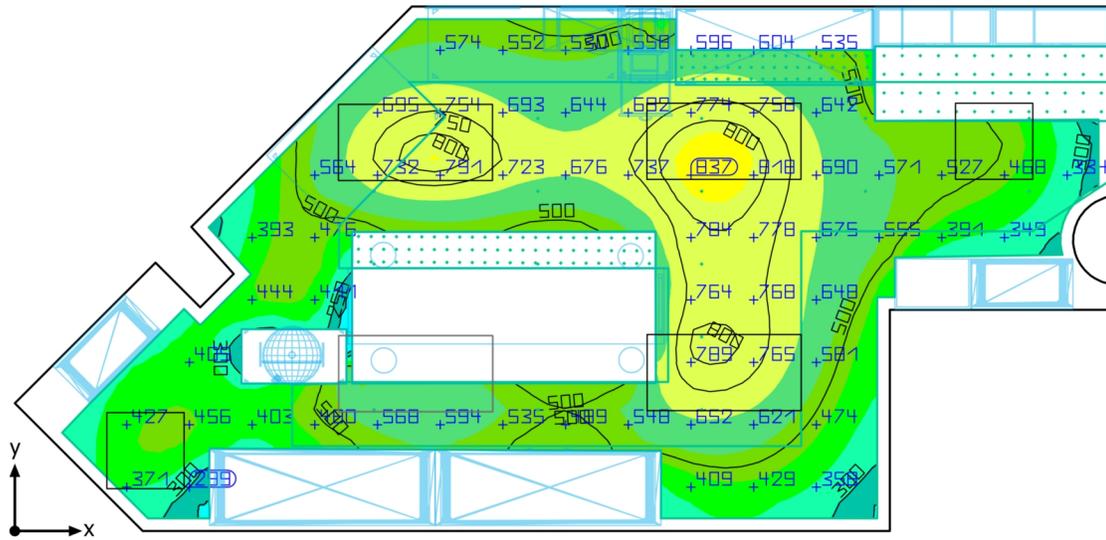


Propiedades	\bar{E}	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Mesa de trabajo 3 (LAB. 1-10) Iluminancia perpendicular Altura: 0.970 m	730 lx	420 lx	896 lx	0.58	0.47	S14

Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

Resumen



Base: 27.12 m² | Grado de reflexión: Techo: 65.0 %, Paredes: 5.9 %, Suelo: 56.0 % | Factor de degradación: 0.80 (Global) | Altura interior del local: 2.700 m | Altura de montaje: 2.700 m

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

Resumen

Resultados

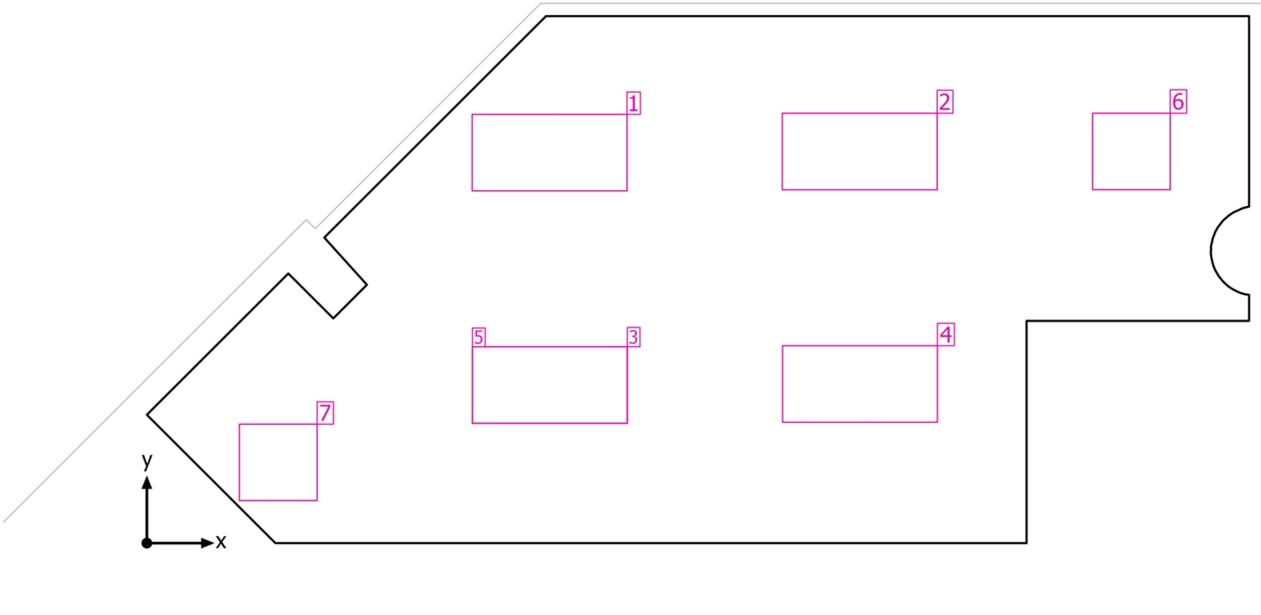
	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$\bar{E}_{\text{perpendicular}}$	566 lx	≥ 500 lx	✓	S2
	g_1	0.38	-	-	S2
Valores de consumo	Consumo	360 kWh/a	máx. 1000 kWh/a	✓	
Potencia específica de conexión	Local	10.03 W/m ²	-	-	
		1.77 W/m ² /100 lx	-	-	
	Plano útil	16.16 W/m ²	-	-	
		2.85 W/m ² /100 lx	-	-	

Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Lista de luminarias

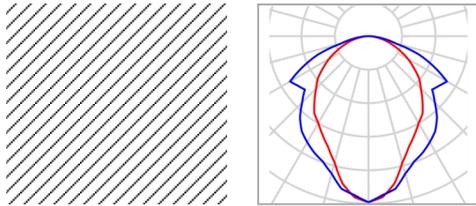
Uni.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
2	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	32.0 W	3558 lm	111.3 lm/W
4	FEILO	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL	De Empotrar/ Iluminacion General	52.0 W	6411 lm	123.3 lm/W

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11
Plano de situación de luminarias



Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

Plano de situación de luminarias



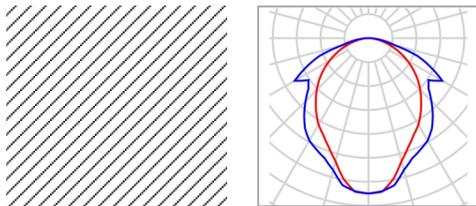
Fabricante	FEILO
N° de artículo	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS
Nombre del artículo	De Empotrar/ Iluminacion General

Luminarias individuales

X	Y	Altura de montaje	Luminaria
7.743 m	3.084 m	2.700 m	6
1.033 m	0.636 m	2.700 m	7

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

Plano de situación de luminarias



Fabricante	FEILO
N° de artículo	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL
Nombre del artículo	De Empotrar/ Iluminacion General

Luminarias individuales

X	Y	Altura de montaje	Luminaria
3.168 m	3.075 m	2.700 m	1
5.607 m	3.084 m	2.700 m	2
3.170 m	1.245 m	2.700 m	3
5.609 m	1.254 m	2.700 m	4
3.170 m	1.245 m	2.700 m	5

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

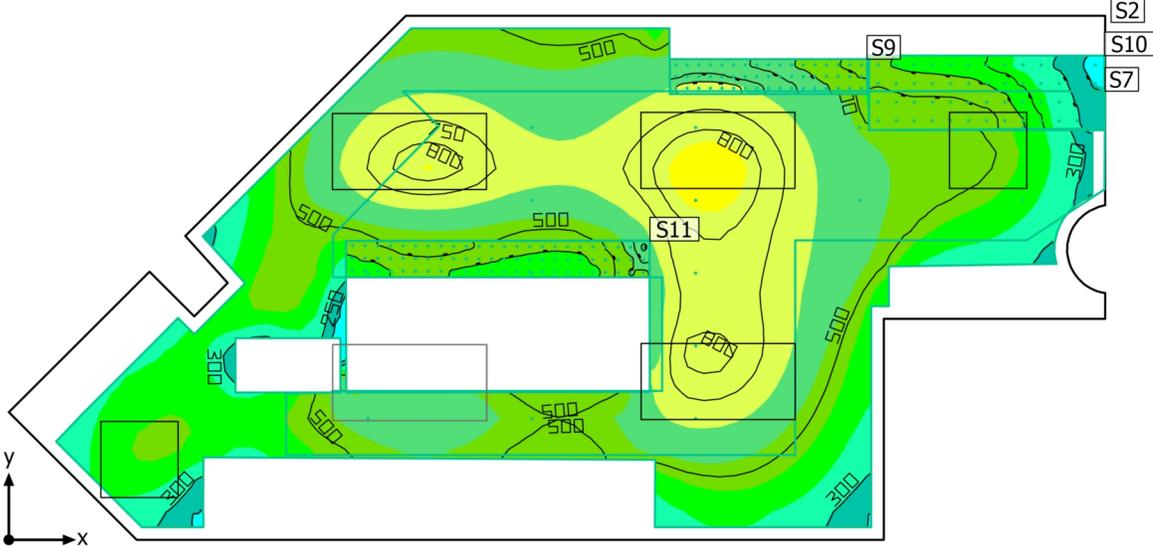
Lista de luminarias

Φ_{total} 39166 lm	P_{total} 324.0 W	Rendimiento lumínico 120.9 lm/W
----------------------------	------------------------	------------------------------------

2	FEILO	UL Rubico LED 2x2 2 3550 lm 32W Dif 9 Emp TS	De Empotrar/ Iluminacion General	32.0 W	3558 lm	111.3 lm/W
5	FEILO	UL Rubico LED 2x4 4 6410 lm 52W Dif 9 Emp TL	De Empotrar/ Iluminacion General	52.0 W	6411 lm	123.3 lm/W

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

Objetos de cálculo



Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Plano útil (Laboratorio 1-11) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.100 m	566 lx (≥ 500 lx) 	213 lx	850 lx	0.38	0.25	<input type="checkbox"/>

Superficie de cálculo

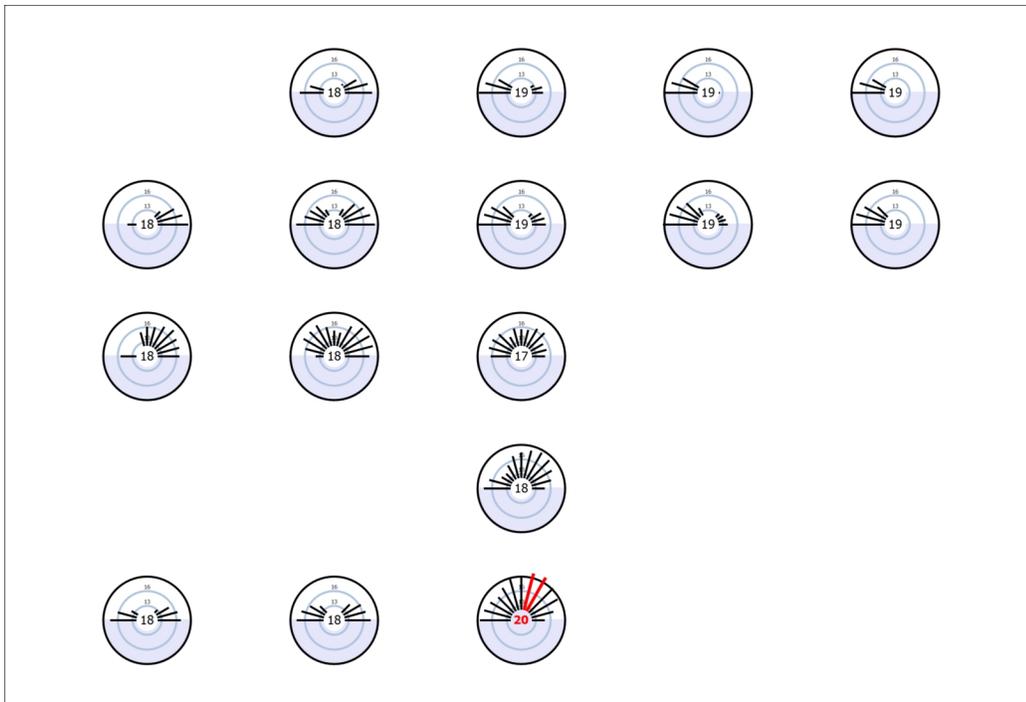
Propiedades	\bar{E}	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Escritorio LDM (LAB. 1-11) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m	597 lx	484 lx	689 lx	0.81	0.70	<input type="checkbox"/>
Escritorio asistente (LAB.1-11) Iluminancia perpendicular Altura: 0.860 m	421 lx	232 lx	541 lx	0.55	0.43	<input type="checkbox"/>
Banco Fotometrico (LAB. 1-11) Iluminancia perpendicular Altura: 0.900 m	473 lx	406 lx	656 lx	0.86	0.62	<input type="checkbox"/>

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

Objetos de cálculo

UGR (LABORATORIO 1-11) (UGR)

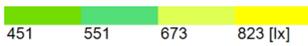
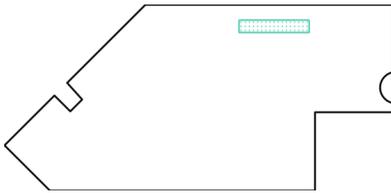
Máx. deslumbramiento a	60°
máx	20.1
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 180°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	S7



Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

Escritorio LDM (LAB. 1-11)

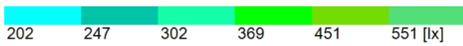
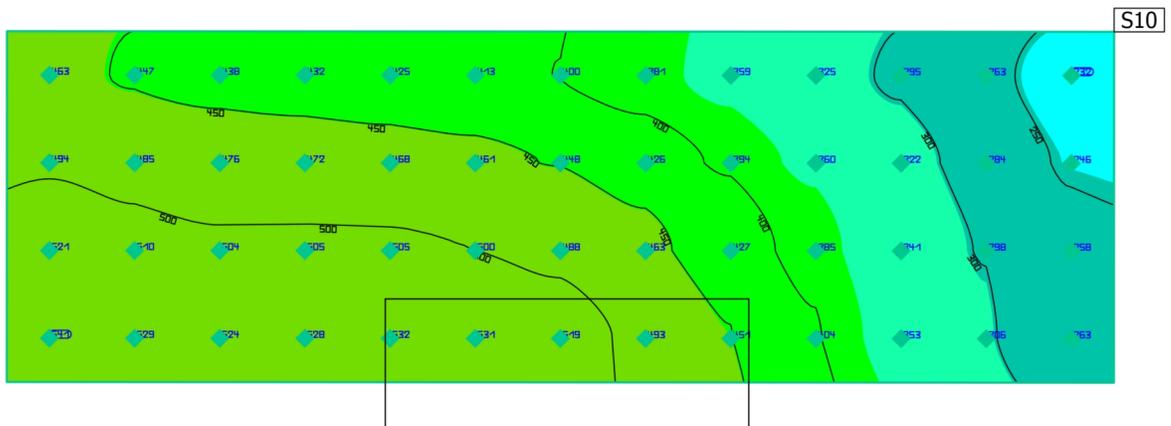
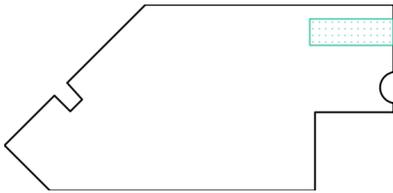


Propiedades	\bar{E}	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Escritorio LDM (LAB. 1-11) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m	597 lx	484 lx	689 lx	0.81	0.70	S9

Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

Escritorio asistente (LAB.1-11)

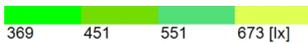
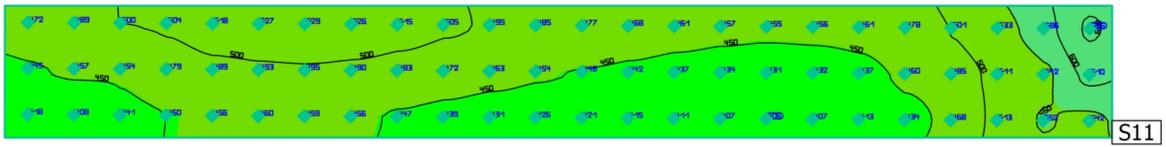
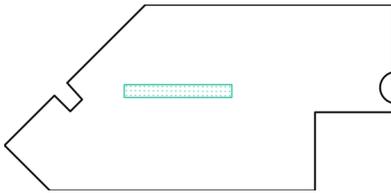


Propiedades	\bar{E}	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Escritorio asistente (LAB.1-11) Iluminancia perpendicular Altura: 0.860 m	421 lx	232 lx	541 lx	0.55	0.43	S10

Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Laboratorio 1-11

Banco Fotometrico (LAB. 1-11)



Propiedades	\bar{E}	$E_{\text{mín}}$	$E_{\text{máx}}$	g_1	g_2	Índice
Banco Fotometrico (LAB. 1-11) Iluminancia perpendicular Altura: 0.900 m	473 lx	406 lx	656 lx	0.86	0.62	S11

Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Glosario

A

A	Símbolo para una superficie en la geometría
Altura interior del local	Designación para la distancia entre el borde superior del suelo y el borde inferior del techo (para un local en su estado terminado).

Á

Área circundante	El área circundante limita directamente con el área de la tarea visual y debe contar con una anchura de al menos 0,5 m, según DIN EN 12464-1. Se encuentra a la misma altura que el área de la tarea visual.
Área de fondo	El área de fondo limita, según DIN EN 12464-1, con el área inmediatamente circundante y alcanza los límites del local. En el caso de locales grandes, el área de fondo tiene al menos 3 m de anchura. Es horizontal y se encuentra a la altura del suelo.
Área de la tarea visual	El área requerida para llevar a cabo una tarea visual según DIN EN 12464-1. La altura corresponde a la altura a la que se lleva a cabo la tarea visual.

C

CCT	<p>(ingl. correlated colour temperature)</p> <p>Temperatura del cuerpo de un proyector térmico, que se utiliza para la descripción de su color de luz. Unidad: Kelvin [K]. Entre menor sea el valor numérico, más rojo, a mayor valor numérico, más azul será el color de luz. La temperatura de color de lámparas de descarga gaseosa y semiconductores se denomina, al contrario de la temperatura de color de los proyectores térmicos, como "temperatura de color correlacionada".</p> <p>Correspondencia entre colores de luz y rangos de temperatura de color según EN 12464-1:</p> <p>Color de luz - temperatura de color [K] blanco cálido (ww) < 3.300 K blanco neutro (nw) ≥ 3.300 – 5.300 K blanco luz diurna (tw) > 5.300 K</p>
Cociente de luz diurna	<p>Relación entre la iluminancia que se alcanza en un punto en el espacio interior, debida únicamente a la incidencia de luz diurna, y la iluminancia horizontal en el espacio exterior bajo cielo abierto.</p> <p>Símbolo: D (ingl. daylight factor) Unidad: %</p>

Glosario

CRI (ingl. colour rendering index)
Denominación para el índice de reproducción cromática de una luminaria o de una fuente de luz según DIN 6169: 1976 o. CIE 13.3: 1995.

El índice general de reproducción cromática Ra (o CRI) es un coeficiente adimensional que describe la calidad de una fuente de luz blanca en lo que respecta a su semejanza a una fuente de luz de referencia, en los espectros de emisión de 8 colores de prueba definidos (ver DIN 6169 o CIE 1974).

D

Densidad lumínica Medida de la "impresión de claridad" que el ojo humano percibe de una superficie. Es posible que la superficie misma ilumine o que refleje la luz que incide sobre ella (valor de emisor). Es la única dimensión fotométrica que el ojo humano puede percibir.

Unidad: Candela por metro cuadrado
Abreviatura: cd/m²
Símbolo: L

E

Eta (η) (ingl. light output ratio)
El grado de eficacia de funcionamiento de luminaria describe qué porcentaje del flujo luminoso de una fuente de luz de radiación libre (o módulo LED) abandona la luminaria instalada.

Unidad: %

F

Factor de degradación Véase MF

Flujo luminoso Medida para la potencia luminosa total emitida por una fuente de luz en todas direcciones. Es con ello un "valor de emisor" que especifica la potencia de emisión total. El flujo luminoso de una fuente de luz solo puede determinarse en el laboratorio. Se diferencia entre el flujo luminoso de lámpara o de módulo LED y el flujo luminoso de luminaria.

Unidad: Lumen
Abreviatura: lm
Símbolo: Φ

Glosario

G

g1	Con frecuencia también U_0 (ingl. overall uniformity) Denomina la uniformidad total de la iluminancia sobre una superficie. Es el cociente de E_{min} y \bar{E} y se utiliza, entre otras, en normas para la especificación de iluminación en lugares de trabajo.
g2	Denomina en realidad la "desigualdad" de la iluminancia sobre una superficie. Es el cociente entre E_{min} y E_{max} y por lo general es relevante solo como evidencia de iluminación de emergencia según EN 1838.
Grado de reflexión	El grado de reflexión de una superficie describe qué cantidad de la luz incidente es reflejada. El grado de reflexión se define mediante la coloración de la superficie.

I

Iluminancia, adaptativa	Para la determinación de la iluminancia media adaptativa sobre una superficie, ésta se rasteriza en forma "adaptativa". En el área en que hay las mayores diferencias en iluminancia dentro de la superficie, la rasterización se hace más fina, en el área de menores diferencias, se realiza una rasterización más gruesa.
Iluminancia, horizontal	Iluminancia, calculada o medida sobre un plano horizontal (éste puede ser p.ej. una superficie de una mesa o el suelo). La iluminancia horizontal se identifica por lo general con las letras E_h .
Iluminancia, perpendicular	Iluminancia perpendicular a una superficie, medida o calculada. Este se debe considerar en superficies inclinadas. Si la superficie es horizontal o vertical, no existe diferencia entre la iluminancia perpendicular y la vertical u horizontal.
Iluminancia, vertical	Iluminancia, calculada o medida sobre un plano vertical (este puede ser p.ej. la parte frontal de una estantería). La iluminancia vertical se identifica por lo general con las letras E_v .
Intensidad lumínica	Describe la intensidad de luz en una dirección determinada (valor de emisor). La intensidad lumínica es el flujo luminoso Φ , entregado en un ángulo determinado Ω del espacio. La característica de emisión de una fuente de luz se representa gráficamente en una curva de distribución de intensidad luminosa (CDL). La intensidad lumínica es una unidad básica SI. Unidad: Candela Abreviatura: cd Símbolo: I

Glosario

Intensidad lumínica	<p>Describe la relación del flujo luminoso que cae sobre una superficie determinada y el tamaño de esta superficie ($\text{lm}/\text{m}^2 = \text{lx}$). La iluminancia no está vinculada a una superficie de un objeto. Puede determinarse en cualquier punto del espacio (interior o exterior). La iluminancia no es una propiedad de un producto, ya que se trata de un valor del receptor. Para su medición se utilizan aparatos de medición de iluminancia.</p> <p>Unidad: Lux Abreviatura: lx Símbolo: E</p>
<hr/>	
L	
LENI	<p>(ingl. lighting energy numeric indicator) Indicador numérico de energía de iluminación según EN 15193</p> <p>Unidad: kWh/m² año</p>
<hr/>	
LLMF	<p>(ingl. lamp lumen maintenance factor)/según CIE 97: 2005 Factor de mantenimiento de flujo luminoso de lámparas, tiene en cuenta la disminución del flujo luminoso de una lámpara o de un módulo LED en el curso de su tiempo de funcionamiento. El factor de mantenimiento de flujo luminoso de lámparas se especifica como número decimal y puede tomar un valor máximo de 1 (sin disminución de flujo luminoso).</p>
<hr/>	
LMF	<p>(ingl. luminaire maintenance factor)/según CIE 97: 2005 Factor de mantenimiento de luminaria, tiene en cuenta el ensuciamiento de la luminaria en el curso de su tiempo de funcionamiento. El factor de mantenimiento de luminaria se especifica como número decimal y puede tomar un valor máximo de 1 (sin suciedad).</p>
<hr/>	
LSF	<p>(ingl. lamp survival factor)/según CIE 97: 2005 Factor de supervivencia de la lámpara, tiene en cuenta el fallo total de una luminaria en el curso de su tiempo de funcionamiento. El factor de supervivencia de la lámpara se expresa como número decimal y puede tomar un valor máximo de 1 (dentro del tiempo considerado, no hay fallo, o sustitución inmediata tras un fallo).</p>

Glosario

M

MF

(ingl. maintenance factor)/según CIE 97: 2005

Factor de mantenimiento, número decimal entre 0 y 1, describe la relación entre el valor nuevo de una dimensión de planificación fotométrica (p.ej. iluminancia) y el valor de mantenimiento tras un tiempo determinado. El factor de mantenimiento tiene en cuenta el ensuciamiento de lámparas y locales, así como la disminución de flujo luminoso y el fallo de fuentes de luz.

El factor de mantenimiento se considera en forma general aproximada o se calcula en forma detallada según CIE 97: 2005, por medio de la fórmula $RMF \times LMF \times LLMF \times LSF$.

O

Observador UGR

Punto de cálculo en el espacio, para el cual el DIALux determina el valor UGR. La posición y altura del punto de cálculo deben corresponder a la posición del observador típico (posición y altura de los ojos del usuario).

P

P

(ingl. power)

Consumo de potencia eléctrica

Unidad: Vatio

Abreviatura: W

Plano útil

Superficie virtual de medición o de cálculo a la altura de la tarea visual, por lo general sigue la geometría del local. El plano útil puede también dotarse de una zona marginal.

R

Rendimiento lumínico

Relación entre la potencia luminosa emitida Φ [lm] y la potencia eléctrica consumida P [W]
Unidad: lm/W.

Esta relación puede formarse para la lámpara o el módulo LED (rendimiento lumínico de lámpara o del módulo), para la lámpara o módulo junto con su dispositivo de control (rendimiento lumínico del sistema) y para la iluminaria completa (rendimiento lumínico de luminaria).

Glosario

RMF

(ingl. room maintenance factor)/según CIE 97: 2005

Factor de mantenimiento del local, tiene en cuenta el ensuciamiento de las superficies que rodean el local en el curso de su tiempo de funcionamiento. El factor de mantenimiento del local se especifica como número decimal y puede tomar un valor máximo de 1 (sin suciedad).

S

Superficie útil - Cociente de luz diurna

Una superficie de cálculo, dentro de la cual se calcula el cociente de luz diurna.

U

UGR (max)

(ingl. unified glare rating)

Medida para el efecto psicológico de deslumbramiento de un espacio interior. Además de la luminancia de la luminaria, el valor UGR depende también de la posición del observador, la dirección de observación y la luminancia del entorno. Entre otras, en la norma EN 12464-1 se especifican valores UGR máximos permitidos para diversos lugares de trabajo en espacios interiores.

Z

Zona marginal

Zona circundante entre el plano útil y las paredes, que no se considera en el cálculo.