

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



**Estudio de iluminación natural y artificial en los  
edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
de la Universidad de El Salvador.**

PRESENTADO POR:

**CARLOS ALEXANDER CORNEJO SALVADOR  
GUILLERMO ALEXANDER ESCOBAR ROMERO  
CHRISTIAN ARMANDO RAMÍREZ MENDOZA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2015

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

**SECRETARIA GENERAL :**

**DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**SECRETARIO :**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DIRECTOR :**

**MSc. e ING. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA**

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título

:

**Estudio de iluminación natural y artificial en los  
edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
de la Universidad de El Salvador.**

Presentado por

:

**CARLOS ALEXANDER CORNEJO SALVADOR  
GUILLERMO ALEXANDER ESCOBAR ROMERO  
CHRISTIAN ARMANDO RAMÍREZ MENDOZA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor

:

**MSc. e ING. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ**

San Salvador, Junio de 2015

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**MSc. e ING. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ**

### ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 27 de marzo de 2015, en la Sala de Reuniones de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 11:00 horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Director

Firma: Wilber Calderón

2. MSc. Salvador de Jesús Germán  
Secretario

Firma: [Firma]



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

1- MSc. Carlos Osmin Pocasangre Jiménez

2- Ing. Armando Martínez Calderón

3- Ing. Werner David Meléndez Valle

Firma: [Firma]

Firma: [Firma]

Firma: [Firma]

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

**Estudio de Iluminación natural y artificial en los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad de El Salvador.**

A cargo de los Bachilleres:

- Cornejo Salvador, Carlos Alexander
- Escobar Romero, Guillermo Alexander
- Ramírez Mendoza, Christian Armando

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.7

(Ocho punto Siete)

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a las personas e instituciones que colaboraron con el desarrollo de este trabajo de investigación:

MSC. E ING. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ.  
Asesor del trabajo de graduación.

ING. JORGE VÁSQUEZ CHAVARRÍA  
Gerente General Greentek.

## DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a DIOS, mi señor y salvador, por permitirme en su infinita misericordia alcanzar éste logro, el cual es para su gloria y honra; también por regalarme la suficiente sabiduría y mantenerme con la humildad necesaria para lograrlo, además de llenar mi espíritu de fuerzas para no desfallecer en los momentos más difíciles.

A mis padres Guillermo Escobar y Maritza Griselda de Escobar, que son una de las más grandes bendiciones que Dios me ha regalado en la tierra, por su invaluable esfuerzo y su apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida, por su sacrificio al brindarme el respaldo necesario para obtener éste gran logro y por ser los mayores pilares morales y espirituales en mi vida, por su paciencia y su amor.

A mi hermana Laura Escobar, por ser un ejemplo a seguir y un pilar de apoyo, por su compañía y sus palabras de aliento, porque a pesar de nuestras muchas diferencias siempre me ha dado consejos sabios y palabras de motivación.

A mi novia Karla Gálvez, por su amor, comprensión y su paciencia, por estar a mi lado cuando más lo necesitaba, por sacrificarse para estar a mi lado y por todas esas ocasiones en las que me hizo esforzarme para lograr éste que es **“Nuestro”** triunfo.

A mi amiga Reina Vides, por su apoyo, consejos y por las conversaciones sin límite de tiempo.

A mi compañeros de tesis, por su carisma y por haber aceptado embarcarse en este reto, logrando una dinámica que tuvo resultados satisfactorios.

A nuestro asesor de tesis Ing. Carlos Pocasangre por su tiempo y dedicación hacia nuestro trabajo.

A todos mis compañeros de estudio, a mis amigos, familiares y docentes.

A todos, humildemente, mi dedicatoria.

Guillermo Alexander Escobar Romero.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios, por haberme dado la vida, la fortaleza y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado que la fe y la oración son las principales armas para vencer cualquier obstáculo. Por darle la vida a mis padres y hacer de ellos un ejemplo a seguir.

A mis padres María Luz Salvador y Joaquín Cornejo, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. Por ser mi inspiración en esos momentos difíciles al enseñarme principios católicos cristianos y espíritu de trabajo.

A mis hermanos, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento. Por brindarme alegría especialmente en esos momentos difíciles vividos. Por ponerse muchas veces el papel de padre.

A mis amigos, por el apoyo brindado lo cual ha sido parte fundamental para alcanzar esta meta.

Carlos Alexander Cornejo Salvador.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada momento de mi vida, por iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante mis años como estudiante.

A mi madre Maritza Mendoza, por darme la vida, creer en mí, porque siempre me apoyó. Agradecerle por darme una carrera para mi futuro.

A mi padre Armando Ramírez, Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado desde niño, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Christian Armando Ramírez Mendoza.

## CONTENIDO

INTRODUCCION .....	13
CAPITULO I .....	14
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivo General .....	14
1.1.2 Objetivos Específicos .....	14
1.2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIONES .....	14
1.2.1. Antecedentes .....	14
1.2.2. Justificaciones.....	15
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.4. ALCANCES.....	16
1.5. MARCO TEORICO.....	17
1.5.1. Mecanismo De La Visión .....	17
1.5.2. Factores Profesionales Que Ocasionan Fatiga Visual.....	21
1.5.3. Conceptos Generales Y Equipo De Medicion .....	22
1.5.4. Comparacion De Instrumentos De Medicion.....	23
1.5.5. Especificaciones Del Luxometro A Utilizar .....	25
1.5.6. Naturaleza Fisica De La Luz .....	25
1.5.7. Concepto Actual De La Luz .....	26
1.5.8. Magnitudes Fundamentales De La Luz.....	27
1.5.9. Luz Y Objetos .....	32
1.5.10. Definición De Iluminación .....	36
1.6. EL PAPEL DEL PROYECTISTA O DISEÑADOR DE LA ILUMINACIÓN.....	36
1.6.1. Intensidad.....	37
1.6.2. Posición .....	37
1.6.3. Distribución y forma.....	37
1.6.4. Tiempo Y Movimiento .....	38
1.6.5. Color .....	38
1.7. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.....	45
1.7.1. Clasificación Según Fuentes .....	45
1.7.2. Iluminación General Uniforme.....	48
1.7.3. Iluminación General E Iluminación Localizada De Apoyo .....	48

1.7.4.	Iluminación General Localizada.....	48
1.8.	ESTUDIO DE ILUMINACIÓN .....	49
1.8.1.	Parámetros Principales A Considerar.....	49
1.8.2.	Mantenimiento Y Conservación .....	49
1.8.3.	Caracterización Y Cuantificación De Las Exigencias .....	50
CAPITULO II	.....	56
2.1.	ANÁLISIS GENÉRICO .....	56
2.1.1.	Parámetros Luminotécnicos en Estudio.....	57
2.1.2.	Valor de Eficiencia Energética (VEE) [19]. .....	58
2.2.	ANÁLISIS POR ORDENADOR DIALUX .....	61
2.2.1.	Flujo de Trabajo en DIALux [1] .....	61
2.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	66
2.3.1.	Laboratorio de Telemática, Escuela de Ingeniería Eléctrica .....	66
2.3.2.	Laboratorio de Metalografía, Escuela de Ingeniería Mecánica.....	70
2.3.3.	Cubículo del Ing. Salvador, Escuela de Ingeniería Eléctrica .....	74
2.3.4.	Laboratorio 2, Centro de Estudios Meteorológicos .....	77
2.3.5.	Salón de Clases D-43 .....	81
2.3.6.	Almacén Ubicado en UCB.....	85
2.3.7.	Cubículos Ingeniería En Sistemas .....	88
2.3.8.	Tabla Resumen del Nivel de Iluminación en la FIA, UES. ....	92
2.4.	RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN LA FIA, UES .....	96
2.4.1.	Resultados de las Encuestas para Estudiantes.....	96
2.4.2.	Resultados de las Encuestas para Docentes .....	97
3.	PROPUESTAS DE REFORMAS DEL SISTEMA DE ILUMINACION DE LA FIA, UES. ....	100
3.1.	Laboratorio de Telemática, Escuela de Ingeniería Eléctrica .....	100
3.1.1.	Propuesta de reforma número uno. ....	100
3.1.2.	Mantenimiento de las luminarias .....	101
3.1.3.	Corrección del deslumbramiento.....	103
3.1.4.	Estudio de evaluación energética .....	106
3.1.5.	Propuesta de Reforma Número Dos. ....	108
3.1.6.	Estudio de Evaluación Energética .....	110
3.2.	Cubículo del Ing. Salvador, Escuela de Ingeniería Eléctrica. ....	111

3.2.1.	Propuesta de Reforma Número Uno.....	111
3.2.2.	Propuesta Número Dos .....	112
3.2.3.	Estudio de Evaluación Energética .....	113
3.3.	Laboratorio de Metalografía, Escuela de Ingeniería Mecánica.....	113
3.3.1.	Propuesta de Reforma número uno .....	113
3.3.2.	Propuesta de reforma número dos.....	114
3.3.3.	Estudio de evaluación energética .....	115
3.4.	EQUIPO DE ILUMINACIÓN PROPUESTO EN 15 LOCALES DE LA FIA, UES. ....	116
3.5.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE CAMBIOS PROPUESTOS EN LA ILUMINACIÓN FIA, UES.....	118
3.6.	ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO.....	121
3.7.	PROPUESTA DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FIA, UES. ....	121
3.7.1.	Depreciación luminosa.....	121
3.7.2.	Programa de Mantenimiento.....	122
3.8.	CÁLCULO DE PENALIZACION POR NO CONFORMIDAD DECRETO 89, MTPS FIA, UES.....	124
4.	CONCLUSIONES .....	126
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	128
6.	ANEXOS .....	130
6.1.	Muestreo.....	130
6.2.	Pruebas de Luminarias en Laboratorios de la IES Documentos LM-79 Y LM-80.....	134
6.3.	Hojas Técnicas de Lámparas Instaladas en la FIA, UES. ....	138
6.4.	Hoja Técnica de Lámpara Led de 18W. ....	142

## INTRODUCCION

El presente documento muestra la metodología y resultados del estudio del estado actual del sistema de iluminación realizado en los distintos puestos laborales que componen la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA), UES (de 22/08/14 al 27/03/15). Como también se presentan reformas del sistema de iluminación de los locales que no cumplen con los valores mínimos de los parámetros luminotécnicos normados por el REGLAMENTO GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO DE EL SALVADOR Decreto No 89, y la norma Europea de iluminación de interiores UNE-EN 12464-1.

En este estudio se dan a conocer las condiciones en las que se encuentran los distintos puestos laborales con respecto al nivel de iluminación y se plantean las condiciones óptimas de confort visual del ambiente laboral que permite a las personas realizar su trabajo de manera más segura y productiva, considerado la diferencia de edad que existe en las personas para una misma dependencia, lo cual nos permite observar las diferencias de visión, así como los posibles defectos de visión de estas. Se propone los niveles óptimos de los parámetros luminotécnicos del sistemas de iluminación que proporcione un entorno visual confortable y suficiente, según el tipo de actividades que se van a desarrollar en cada una de las dependencias que componen el lugar de trabajo.

## CAPITULO I

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo General

Proporcionar recomendaciones y alternativas de los niveles de iluminación requeridos en los puestos de trabajo de acuerdo al decreto 254 “LEY GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO” para la corrección y prevención posibles problemas en la salud e incidentes que puedan generar incapacidades o fatalidades en los trabajadores Universitarios.

#### 1.1.2 Objetivos Específicos

Realizar tareas de muestreo de variables de iluminación en las áreas laborales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, llámese salones de clase, auditorios, oficinas administrativas, talleres o unidades productivas, y laboratorios.

Hacer uso de simulaciones con software apropiado para modelar el estado actual o línea base y las condiciones óptimas en las que deberían encontrarse las áreas en estudio las cuales deben proveer condiciones seguras a los trabajadores y que garanticen un buen desempeño laboral.

Ofrecer recomendaciones que se encuentren apegadas al decreto No 89 y Decreto No 254 “LEY GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO” con interés en los artículos 130 al 136 para los lugares anteriormente especificados con el fin de obtener una visión adecuada a cada actividad a desarrollarse.

### 1.2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIONES

#### 1.2.1. Antecedentes

En la determinación de los niveles de iluminación adecuados para una instalación hay que tener en cuenta, que los valores recomendados para cada tarea y entorno se basan en valoraciones subjetivas de los usuarios, como la comodidad visual, el rendimiento visual, y la sensación de bienestar. Por ello se debe buscar una solución de compromiso que

consiga un ambiente de trabajo lo más adecuado posible para todos los usuarios y en distintas condiciones ambientales. La buena iluminación en el entorno de trabajo es esencial para el cumplimiento de la tarea, influye en la seguridad, salud y bienestar personal. Para permitir que las tareas visuales se realicen de modo eficiente y preciso, debe preverse una iluminación adecuada y apropiada a la actividad a realizarse en el lugar.

No existe antecedentes investigativos relacionados con el estudio técnico de iluminación en los edificios de la facultad de ingeniería y arquitectura de la universidad de El Salvador, por lo que el estudio planteado es de mucha importancia. Los temas de investigación planteados son: un estudio técnico de iluminación basado en la medición de la uniformidad de la iluminación al interior de los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura considerando lo reglamentado de los niveles de iluminación en el REGLAMENTO GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO DE EL SALVADOR Decreto No 89,, conjuntamente con la Norma Europea iluminación de interiores UNE-EN 12464-1 en las que se especifica los niveles medios de iluminación en luxes por metro cuadrado de acuerdo al área y tarea a realizar de esta manera mejorar las condiciones de confort y bienestar del personal a los trabajadores Universitarios.

#### 1.2.2. Justificaciones

Uno de los parámetros principales de habitabilidad es la iluminación adecuada para la tarea que se realiza, lo que en ausencia de ésta, en lugares como una oficinas, lugares de estudio y demás ambientes laborales, puede originar fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, estrés, accidentes y posturas inadecuadas, incidiendo principalmente en ámbitos de seguridad, confort y productividad de las personas, es por ello que se debe diseñar ambientes de estudio o trabajo adecuados para la visión. De lo presentado surgen entonces las interrogantes base de esta investigación que son:

- 1) ¿Están relacionadas las condiciones de iluminación y la fatiga visual en el personal de oficina?
- 2) ¿Cuáles son las ventajas de un ambiente laboral bien iluminado?
- 3) ¿Cómo debe ser la iluminación en los ambientes de trabajo?

4) ¿Qué debe asegurar un sistema de iluminación?

5) ¿Es posible relacionar la fatiga visual con las condiciones de iluminación en un ambiente de oficina?

Estas interrogantes de partida harán que la investigación realizada resuelva problemas en el sistema de iluminación en la facultad de ingeniería y arquitectura de la Universidad de El Salvador, y así ayudar de gran manera en la salud ocupacional de los trabajadores que ahí laboran. Otra de las motivaciones de desarrollar este estudio es el poder exonerar de suntuosas multas que pueden ser impuestas por el ministerio de trabajo si los edificios de la facultad no cumplieren con el decreto 89, multas que se encuentran establecidas en los artículos 77,83 y 88 del reglamento General de prevención de riesgos en los lugares de trabajo.

### 1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Estudio de iluminación en salones de clase, laboratorios y áreas de oficina de los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, haciendo el respectivo análisis de los datos obtenidos para ser comparados, con los estándares establecidos de iluminación publicados por la IES (ILLUMINATINGENGINEERINGSOCIETY), y el REGLAMENTO GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO DE EL SALVADOR Decreto No 89; después se presentaran posibles soluciones para corregir los valores de iluminación si los datos de intensidad luminosa medidos en lúmenes están por debajo de lo establecido en las entidades antes mencionadas, para ello se usara como herramienta de diseño el software DIALux (Distribución gratuita), con el cual se presentaran la simulación del estado actual de los lugares de interés y el nuevo diseño que permita las condiciones adecuadas de iluminación según la actividad de trabajo.

### 1.4. ALCANCES

Estudio de iluminación en salones de clase, laboratorios y áreas de oficina de los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, haciendo el respectivo análisis de los datos obtenidos para ser comparados, con los estándares establecidos de iluminación

publicados por la IES (ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY), y el REGLAMENTO GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO DE EL SALVADOR Decreto No 89; después se presentaran posibles soluciones para corregir los valores de iluminación si los datos de intensidad luminosa medidos en lúmenes están por debajo de lo establecido en las entidades antes mencionadas, para ello se usara como herramienta de diseño el software DIALux, proporcionado por la empresa DIAL, en cargada de planificación de proyectos de iluminación [1], con el cual se presentaran la simulación del estado actual de los lugares de interés y el nuevo diseño que permita las condiciones adecuadas de iluminación según la actividad de trabajo.

## 1.5. MARCO TEORICO

### 1.5.1. Mecanismo De La Visión

El ojo es el órgano mediante el cual se experimentan las sensaciones de luz y color. El ojo recibe la energía luminosa y la transforma en energía eléctrica que es conducida a través del nervio óptico hasta el cerebro, donde tiene lugar la interpretación de la imagen visualizada.

El ojo humano se encuentra formado por una lente cristalina, y por una cámara de lectura llamada retina (el cuerpo vítreo separa los dos órganos de la visión). Todo ello se encuentra dentro de un globo móvil. Los músculos que juegan un papel fundamental en la lectura, permiten que el globo ocular pueda moverse. El sistema nervioso proporciona movilidad y sensibilidad a los ojos y existe un sistema vascular que garantiza la alimentación de los tejidos.

Cuando el ojo está en reposo, los rayos que provienen de un objeto alejado convergen en la retina, mientras que los de una imagen situada en un punto cercano caen detrás de la retina. En los trabajos informáticos el ojo permanece en una actividad muscular permanente: mientras se mira a la pantalla que se encuentra situada a cierta distancia, el ojo se acomoda para ver claramente la imagen; si se quita la vista de la pantalla y se lleva sobre una hoja de papel para recoger la información que hay en ella, el ojo deberá acomodarse de nuevo. La visión pone en juego todo un sistema muscular que tendrá

tendencia a fatigarse. Cuando la luz ambiental es débil, la pupila se dilata para poder percibir mayor cantidad de luz y hacerla llegar a la retina. Se trata también de un proceso mecánico, pero las células que tapizan la retina tienen un periodo de latencia en su respuesta a los cambios de intensidad de luz. Por eso, cuando se pasa de una habitación bien iluminada a una habitación que está oscura, no se ve nada durante algunos segundos y es preciso irse adaptando a la oscuridad poco a poco. Gracias al fenómeno de adaptación la retina, puede en función del grado de la iluminación ambiente activar su zona de sensibilidad adecuada para la percepción de ese grado de iluminación [2]. Cuando el ojo está adaptado a niveles de luminancia inferiores a 0.25 candelas por metro cuadrado, la visión se denomina escotópica. En este caso los bastones son los elementos activos principales. En la visión escotópica no hay sensación de color [3].

Fatiga visual: Esta consiste en una disminución de la capacidad visual, de carácter reversible, debida a un esfuerzo excesivo del aparato visual [4]. También puede definirse como una alteración funcional, de carácter reversible en su inicio, debido a sollicitaciones excesivas sobre los músculos oculares y de la retina, a fin de obtener una focalización fija de la imagen sobre la retina. [5] Uno de los factores que más influencia tiene sobre la aparición de la fatiga visual son los deslumbramientos, estos se entienden como la situación visual en la cual se produce malestar o una reducción en la capacidad de percibir detalles u objetos, debido a una distribución inadecuada de iluminancias, a un valor elevado de las mismas o a un exceso de contraste [4].

Naturaleza de la fatiga visual: Se puede traducir en síntomas subjetivos, modificaciones fisiológicas y una bajada del rendimiento visual. La fatiga visual se caracteriza por tres síntomas subjetivos:

1. Oculares: sensación de tensión del globo acular, sequedad del ojo, tensión o pesadez en los párpados y ojos, picores, sensación de ardor, sensibilidad a la presión.

2. Visuales: visión borrosa, visión doble, diplopía, bajada de la agudeza visual, dificultades de fijación, persistencia anormal de imágenes consecutivas, inestabilidad de la imagen dentro de su definición óptica.
3. Generales: cefaleas, náuseas, vómitos, somnolencias, sensación de vértigo.

Estos síntomas representan las últimas etapas de una sobrecarga visual prolongada. Las etapas anteriores son difíciles de identificar de otro modo que por las molestias y el conocimiento del esfuerzo requerido para focalizar [5].

Sintomatología: Hay muchos síntomas diferentes, con matices también distintos. El porqué: primeramente porque no corresponde a una sola enfermedad, sino a diferentes problemas con síntomas parecidos. Además, estas enfermedades se relacionan entre sí, por lo que es frecuente que concurren en una misma persona. O sea, que la fatiga visual puede producirse por varias causas a la vez.

Por otra parte, los síntomas son enormemente subjetivos, individuales a cada persona, y varían según la intensidad y la naturaleza. Por eso, lo normal es que cuando dos personas hablan de fatiga visual, aunque lo identifican como el mismo cuadro, cada uno puede tener algo diferente. De forma esquemática, plantea que estos se pueden dividir en tres tipos [6]:

a) Molestias subjetivas en los ojos y la cabeza

El sujeto nota diversas sensaciones en los ojos y/o el área circundante. Se suelen percibir los ojos o los párpados como “cargados”, “pesados”. Se nota una presión, calor, hinchazón. Más que una inflamación que se detecte al mirarse al espejo, es una percepción interna. Puede surgir la necesidad de frotarse los ojos. Esta sensación de “carga” puede referirse a la zona que rodea al globo ocular, al puente de la nariz (también puede aliviarse un poco con un masaje en esa zona), a la cuenca del ojo (llamada órbita), etc. Se puede notar alivio al cerrar los ojos.

A veces la sensación es más intensa, y puede manifestarse en forma de “pinchazos” o un dolor moderado. En cualquier caso, el dolor ocular franco es raro. Otro síntoma que se

puede presentar es el dolor de cabeza. Están bien definidos los cuadros de cefaleas (dolores de cabeza) de causa ocular. Son muy característicos de una causa concreta de fatiga visual, el factor acomodativo, que veremos más tarde. Son dolores de cabeza que claramente se relacionan con el esfuerzo visual, suelen provenir de la zona de los ojos o la frente e irradiarse hacia atrás, y raramente se dan en un sólo lado de la cabeza. No todos los dolores de cabeza se deben al esfuerzo visual. Están las conocidas migrañas o jaquecas, las cefaleas tensionales, y un largo etcétera. De hecho, existen cuadros de migrañas que se desencadenan por el esfuerzo visual, pero siguen siendo migrañas. La causa es vascular, como el resto de las migrañas, y el esfuerzo de visión sólo es el desencadenante, como lo podría ser un sonido fuerte. Por tanto, si se tienen dolores de cabeza que despiertan por la noche, que no se relacionan con el esfuerzo visual y pueden aparecer en cualquier momento, que son pulsátiles o en un solo lado de la cabeza, lo más normal es que no lo solucionemos con gafas.

Volviendo a los ojos, los síntomas a veces son sensiblemente diferentes: sensación de arenilla o de cuerpo extraño (como si se nos hubiera metido una pestaña, por ejemplo). Parece que nos roza el párpado sobre el ojo cada vez que parpadeamos. Notamos quemazón, y alivia un poco cuando estamos un rato con el ojo cerrado.

#### b) Enrojecimiento del ojo y párpados hinchados

El enrojecimiento de los ojos se encuentra con frecuencia en los casos de fatiga visual. Ocurre en los dos ojos, y se suele acompañar de sensación de calor y de “ojos hinchados”. Aunque el sujeto se pueda sentir alarmado, son enrojecimientos moderados en comparación con otros cuadros (como las conjuntivitis). A veces también hay algo de lagrimeo.

Puede acompañarse a veces de un cúmulo de agua en el tejido de los párpados, con lo que da la imagen de que están hinchados. Lo mismo que antes, se trata de una hinchazón leve e indolora (aunque el paciente lo acuse como un cambio grande). No se puede comparar con cuadros infecciosos del párpado donde sí hay una inflamación dolorosa e intensa. A veces aumentan las ojeras y las bolsas bajo el párpado inferior.

### c) Síntomas visuales

Muchas veces no hay síntoma visual alguno, sólo son molestias subjetivas y enrojecimiento de los ojos. Cuando sí hay síntomas en la visión, suelen presentarse como una borrosidad transitoria de la imagen, una pérdida de nitidez, a veces fluctuante.

#### 1.5.2. Factores Profesionales Que Ocasionan Fatiga Visual

A nivel del trabajo de oficina existen algunos elementos que son relacionados a la aparición de fatiga visual, podemos plantear los siguientes

- Duración del trabajo no alternado por largos periodos de tiempo
- Trabajo continuado en pantallas de ordenadores mal reguladas
- Iluminación inadecuada del puesto de trabajo
- Distancias de fijación de la vista muy cortas
- Defectos visuales personales que ocasionan fatiga visual
- Defectos visuales: hipermetropía, astigmatismo presbicia, agudeza visual deteriorada.
- Edad superior a 45 años Medidas preventivas de la fatiga visual en trabajo sobre pantallas de ordenadores.

Actualmente existen muchos trabajos que exigen estar pendientes de forma permanente de pantallas de visualización alfanuméricas o gráficas que forman parte de los equipos informáticos. Las más difundidas son las pantallas de “sobremesa”, que se utilizan con mayor frecuencia en los ordenadores.

El trabajo delante de pantallas de ordenador puede ocasionar muchos problemas visuales debido a las limitaciones de las pantallas de visualización y/o la utilización incorrecta de las mismas. La presencia de reflejos y parpadeos molestos, unida a la pobre definición de la imagen se puede traducir en un rápido incremento de la fatiga visual, especialmente si la tarea conlleva la lectura frecuente de textos en la pantalla.

### 1.5.3. Conceptos Generales Y Equipo De Medicion

Luxómetro (también llamado luxómetro o light meter) contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados y representada en un display o aguja con la correspondiente escala de lux [7]. Se utiliza para la medición precisa de los acontecimientos luminosos en el sector de la industria, el comercio, la agricultura y la investigación puede utilizarse además para comprobar la iluminación del ordenador, del puesto de trabajo, en la decoración de escaparates y para el mundo del diseño. El luxómetro moderno funciona según el principio de una celda (célula) C.C.D. o fotovoltaica; un circuito integrado recibe una cierta cantidad de luz (fotones que constituyen la "señal", una energía de brillo) y la transforma en una señal eléctrica (analógica). Esta señal es visible por el desplazamiento de una aguja, el encendido de un diodo o la fijación de una cifra. Una fotorresistencia asociada a un ohmímetro desempeñaría el mismo papel. Un filtro de corrección de espectro permite evitar que las diferencias de espectro falseen la medida (la luz amarilla es más eficaz que la azul, por ejemplo, para producir un electrón a partir de la energía de un paquete de fotones).

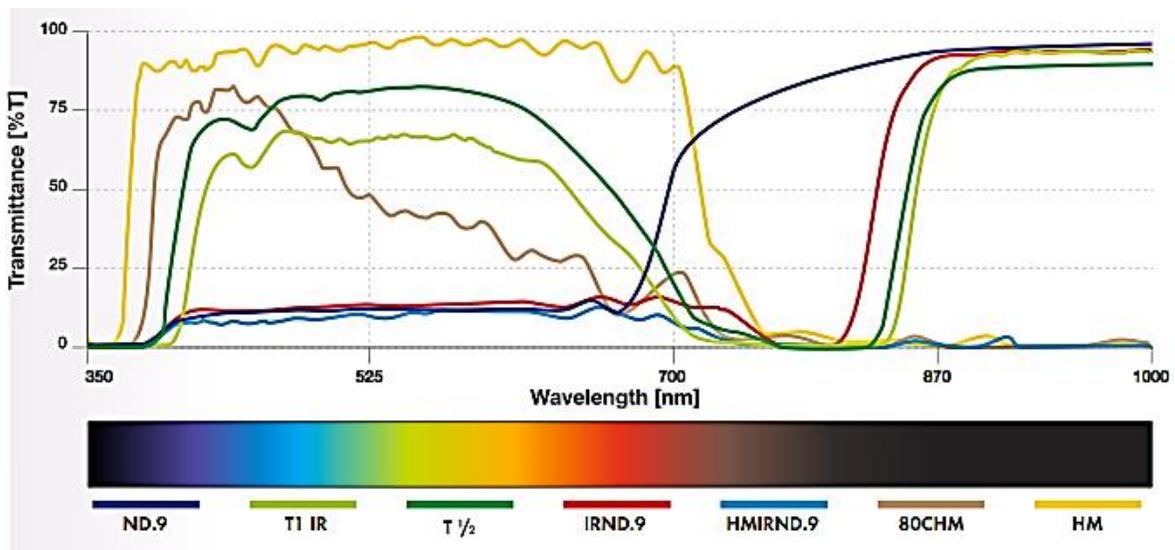


Ilustración 1. Función del filtro de corrección de espectro del luxómetro.

Los luxómetros pueden tener varias escalas para adaptarse a las luminosidades débiles o las fuertes (hasta varias decenas de millares de luxes).

Los primero han sido utilizados por fotógrafos y cineastas. Es cada vez más utilizado por los productores de energía para optimizar la iluminación interior (del 20 al 60 % de la electricidad es consumida por la iluminación) o exterior (que a menudo desperdicia mucha energía). Se utilizan también, más raramente para medir la luminosidad del cielo en meteorología, para medir la luz recibida al suelo en bosques o en invernaderos. En los últimos años también ha comenzado a ser utilizado por ecologistas, astrónomos y arquitectos para desarrollar índices cuantitativos de la contaminación lumínica o la intrusión de la luz para reducirlas o adaptar estrategias de ingeniería.

Otro uso es el que le dan los profesionales de higiene y seguridad, a fin de determinar la posibilidad de ocurrencia de una enfermedad profesional por deficiencias lumínicas, ya que así lo establece la legislación laboral en muchos países. También son utilizados por técnicos en prevención de riesgos laborales en los lugares de trabajo.

#### 1.5.4. Comparacion De Instrumentos De Medicion

Para llevar a cabo las respectivas comparaciones se contó con la presencia de un asesor experto en la materia de iluminación, el Ing. Jorge Vásquez Chavarría gerente y representante de la tienda GREENTEK quien fue el que nos asesoró para la compra de un instrumento acorde a nuestras necesidades. Para ver si era factible usar los luxómetros que se encuentran en la Escuela de Ingeniería Eléctrica (EIE). Se hizo la respectiva comparación con otros luxómetros proporcionados por el Ing. Jorge Vásquez Chavarría. Dichos luxómetros cuentan con las certificaciones de calibración internacionales IAS/CL/014 E ISO/IEC 17025.

$$Error = \left( \frac{Valor\ patron - Valor\ medido}{Valor\ patron} \right) * 100$$

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo del error.

Se hicieron mediciones controladas para comparar los datos obtenidos de los distintos luxómetros, como se puede observar en la Ilustración 2, el luxómetro encerado en un cuatro de color rojo es el que posee la EIE, se observa claramente que este es el que más variación presenta con respecto a los otros la desviación es de aproximadamente 78 lux con un error del 13%.



Ilustración 2: Comparación de mediciones con equipos calibrados.

Por lo tanto se descartó el uso de los luxómetros proporcionados por la EIE. De igual manera en este mismo local se tomó medidas con el luxómetro adquirido para el desarrollo de la tesis obteniendo el valor mostrado en la Ilustración 3, por lo tanto respecto a los otros luxómetros certificados la desviación es de 2 lux, obteniendo un error de 0.34% el cual es aceptable según normas de calibración internacionales IAS/CL/014 E ISO/IEC 17025.



Ilustración 3: Medición obtenida del luxómetro adquirido para el desarrollo de la tesis.

### 1.5.5. Especificaciones Del Luxómetro A Utilizar

- Pantalla: 18mm LCD.
- Rango: 0-50,000 Lux sobre 3 mediciones.
- Tiempo de muestreo: 0.4 segundos.
- Resiste temperaturas: de 0 a 50°C (32F to 22F).
- Resiste humedad: por debajo del 80% RH.
- Dimensiones: 118 x 70 x 29mm.
- Peso: 200 gramos (incluyendo pilas).
- Suministro de energía: pilas DC9V.



Ilustración 4. Luxómetro adquirido para la realización de esta tesis

### 1.5.6. Naturaleza Física De La Luz

¿Qué es la luz? Los sabios de todas las épocas han tratado de responder a esta pregunta. Los griegos suponían que la luz emanaba de los objetos, y era algo así como un "espectro" de los mismos, extraordinariamente sutil, que al llegar al ojo del observador le permitía verlo.

### 1.5.7. Concepto Actual De La Luz

La luz puede ser definida como “toda radiación electromagnética, que puede propagarse a la través del vacío, susceptible de ser percibida por el sentido de la vista” [8](Ilustración 5). El intervalo de frecuencias de las radiaciones que componen la luz solamente está delimitado por la capacidad del órgano de la visión.

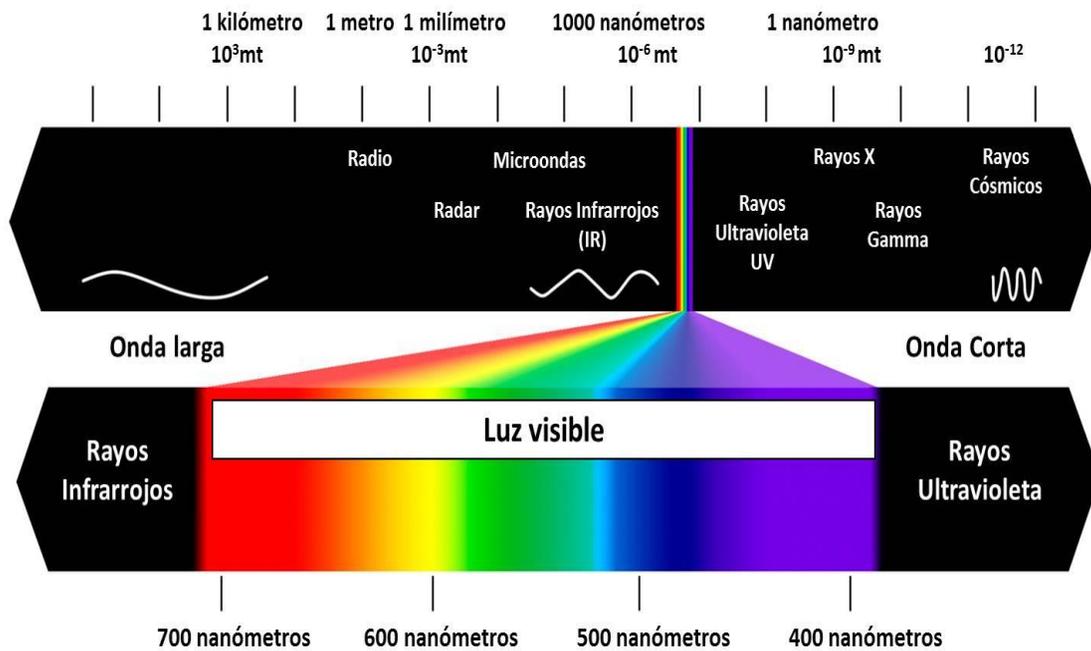


Ilustración 5. Espectro electromagnético y el rango del espectro visible.

La velocidad de la luz visible se ha calculado como exacta y finita al vacío a 299,792.458Km/s. Según la teoría de la relatividad de Einstein ninguna materia puede viajar a mayor velocidad y es imposible transportar información a más velocidad que esta.

La frecuencia de una onda de luz es proporcional a su cantidad de energía. La radiación electromagnética de alta frecuencia tiene grandes cantidades de energía (rayos gamma) y la luz de baja frecuencia tiene poca energía (ondas de radio). Mientras mayor energía se tenga, mayores posibilidades existen de penetrar materiales. La radiación electromagnética visible es lo que comúnmente conocemos como luz visible, y puede ser descompuesta en diferentes frecuencias Ilustración 6, que corresponden a niveles de energía por cada “color” en un rango de 430 billones de Hertz (rojo) a 750 billones de hertz (violeta) [9].

Luz visible		
Color	Frecuencia	Longitud de onda
Violeta	668–789 THz	380–450 nm
Azul	631–668 THz	450–475 nm
Ciano	606–630 THz	476–495 nm
Verde	526–606 THz	495–570 nm
Amarillo	508–526 THz	570–590 nm
Naranja	484–508 THz	590–620 nm
Rojo	400–484 THz	620–750 nm

Ilustración 6. Rangos de frecuencias y longitud e ondas del espectro visible.

#### 1.5.8. Magnitudes Fundamentales De La Luz

La luz es una forma de energía y como tal, debería medirse en Joules (J) en el Sistema Internacional de medidas, no obstante dado que no toda la luz emitida por una fuente produce sensación luminosa ni toda la energía que consume se convierte en luz, para cuantificar la radiación a la que es sensible el ojo humano es necesario definir nuevas magnitudes y sus unidades de medida. Las magnitudes fundamentales de la Luminotecnia son las siguientes:

- Flujo luminoso (F)

Es la cantidad de luz emitida por una fuente en todas las direcciones Ilustración 7, o también podemos decir que es la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa [10].

Símbolo: (F)

Unidad de medida: Lumen (lm)

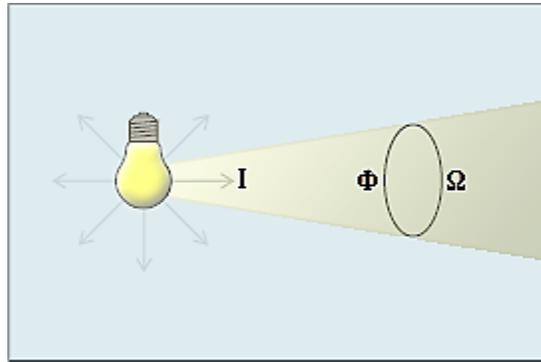


Ilustración 7. Representación del flujo luminoso.

- Intensidad Luminosa (I)

Es la intensidad del flujo luminoso proyectado en una dirección determinada y contenida en un ángulo sólido de 1 estereorradián (w) [10].

Conceptos:

Radian: ángulo plano que corresponde a un arco de circunferencia de longitud igual al radio. A una magnitud de superficie le corresponde un ángulo plano Ilustración 8, que se mide en radianes.

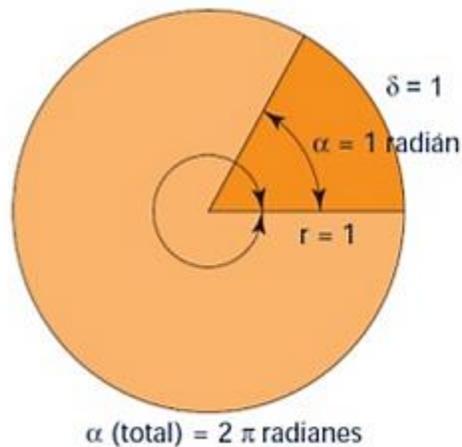


Ilustración 8. Angulo plano.

Estereorradián: ángulo sólido que corresponde a un casquete esférico cuya superficie es igual al cuadrado del radio de la esfera. A una magnitud de volumen le corresponde un ángulo sólido o estéreo que se mide en estereorradianes Ilustración 9.

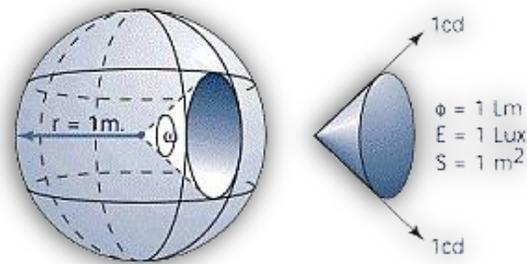


Ilustración 9. Angulo Solido.

Dónde:

$\Phi$ = flujo luminoso

S=Superficie

E=iluminancia

$\omega$ =ángulo sólido

Símbolo: I

Unidad de medida: candela (cd)= lumen / estereorradián. La candela se define como la intensidad luminosa de una fuente puntual, que emite un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradián.



Ilustración 10. Diferencia entre Flujo luminoso e Intensidad Luminosa.

- Iluminancia (E)

Es el flujo luminoso que recibe una superficie determinada. Relaciona el flujo luminoso que recibe la superficie con su extensión [10] (Ilustración 11). Símbolo (E), unidad de medida lux (lx),  $\text{lux} = \text{Flujo luminoso} / \text{Superficie}$ .

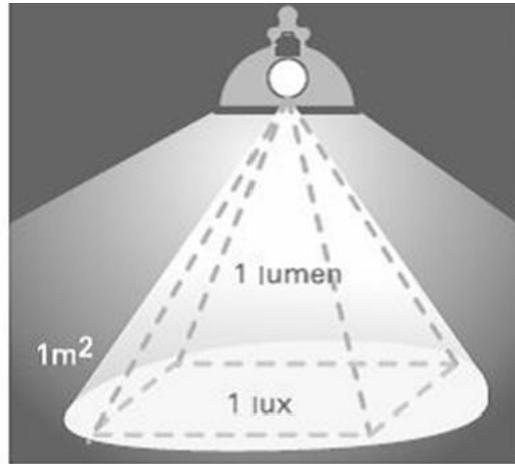


Ilustración 11. Representación gráfica de la iluminancia.

Ley inversa de los cuadrados: la ley de la inversa del cuadrado nos dice que la intensidad de una fuente de luz puntual disminuye el cuadrado de la distancia que recorre con respecto a la fuente de luz. También dice que la superficie iluminada aumenta cuatro veces al doblar la distancia al foco [11].

Lo que viene a decir es que la luz pierde intensidad muy rápidamente según nos alejamos del foco emisor puesto que se reparte en mucha más superficie.

Según vemos en el siguiente esquema de la Ilustración 12, la luz emitida por un flash al llegar a una superficie de  $1 \text{ m}^2$  situada a  $1 \text{ m}$  de distancia la iluminará con una intensidad de  $16 \text{ lux}$ ., mientras que si esa misma luz ilumina la misma superficie de  $1 \text{ m}^2$  pero a  $2 \text{ m}$ . de distancia, lo hará con una intensidad de  $4 \text{ lux}$ .

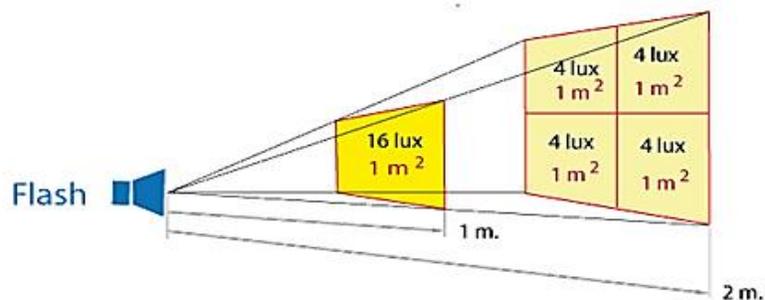


Ilustración 12. Ilustración de la aplicación de la ley inversa del cuadrado de la distancia.

- Luminancia (L)

La luminancia es una medida fotométrica de la intensidad luminosa por unidad de área de la luz que viaja en una dirección dada. En él se describe la cantidad de luz que pasa a través o la de una zona determinada, y cae dentro de un ángulo sólido dado. La unidad SI de luminancia es la candela por metro cuadrado. [12]

La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancias. El área proyectada es la vista por el observador en la dirección de la observación. Se calcula multiplicando la superficie real iluminada por el coseno del ángulo que forma su normal con la dirección de la intensidad luminosa Ilustración 13.

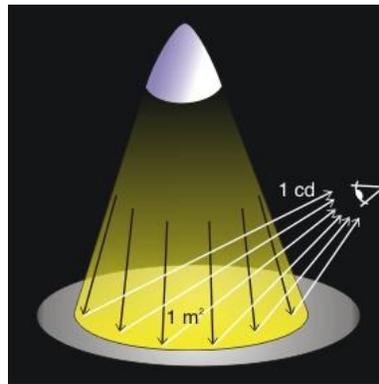


Ilustración 13. Luminancia de una superficie.

Unidad de medida: candela/m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>).

Símbolo: L

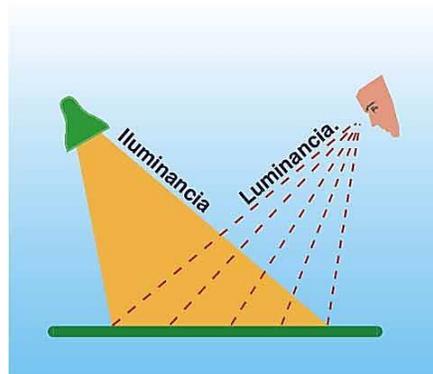


Ilustración 14. Diferencia entre luminancia e iluminancia.

- Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa

Es el cociente entre el flujo luminoso producido por la lámpara y la potencia eléctrica consumida, que viene definida con las características de las lámparas. Su unidad de medida es lumen/watio [lm/wat].

#### 1.5.9. Luz Y Objetos

Propiedades De La Luz: Cuando la luz encuentra un obstáculo en su camino choca contra la superficie de este y una parte es reflejada. Si el cuerpo es opaco el resto de la luz será absorbida. Si es transparente una parte será absorbida como en el caso anterior y el resto atravesará el cuerpo transmitiéndose. Por lo tanto tenemos tres posibilidades:

- Reflexión.
- Transmisión-refracción.
- Absorción.

Para cada una se define un coeficiente que nos da el porcentaje correspondiente. Los cuales son el factor de reflexión ( $\rho$ ), el de transmisión ( $\alpha$ ) y el de absorción ( $\tau$ ) que cumplen con las siguientes ecuaciones:

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

Ecuación 2: Cuerpos transparentes

$$\rho + \alpha = 1 ; \tau = 0$$

Ecuación 3: Cuerpos opacos

Reflexión: Si un rayo o un haz d rayos luminosos inciden sobre una superficie especular, se refleja de tal forma que el ángulo de incidencia es igual al de reflexión Ilustración 16 [13].

Ley de Snell: “Cuando una onda incide sobre la superficie de separación entre dos medios, parte de la energía se refleja y parte entra en el segundo medio. El rayo transmitido está contenido en el plano de incidencia pero cambia de dirección (rayo refractado) formando un ángulo con la normal a la superficie”. [14]

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Ecuación 4: Ley de Snell

Donde  $n_1$  y  $n_2$  en la Ilustración 15 son los índices de refracción de los medios 1 y 2.

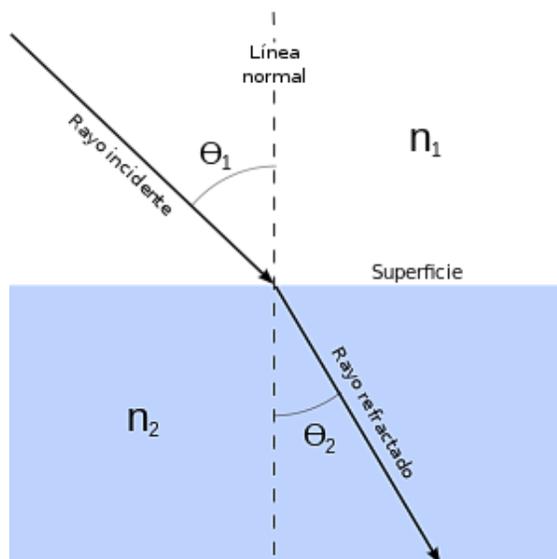


Ilustración 15. Ley de Snell

En la reflexión de la luz interviene de manera decisiva la construcción de la superficie reflectante, distinguiéndose respecto a la misma las siguientes clases de reflexión:

Dirigida o especular: producida por superficies completamente lisas y brillantes, como los espejos de vidrio azogado y los metales pulimentados Ilustración 16.

Difusa: producida por superficies rugosas y mates, como la tela blanca Ilustración 16.

Semidirigida: producida por superficies rugosas y brillantes Ilustración 16.

Semidifusa: producida por superficies blancas y esmaltadas Ilustración 17.

Las clases de reflexión semidirigida y semidifusa son formas mixtas o mezclas de las dos primeras, observándose que la mayor parte de los materiales presentan una combinación de todas ellas. La reflexión difusa evita el deslumbramiento, fenómeno que se discutirá más adelante. Transmisión y Refracción: Se conoce con el nombre de transmisión de la luz a su propagación a través de los cuerpos transparentes o translúcidos. En este fenómeno la dirección de los rayos luminosos cambia de dirección por refracción al pasar oblicuamente de un medio a otro de distinta densidad, según se indica en la Ilustración 17.

Lo mismo que en la reflexión, la constitución de los cuerpos determina las siguientes clases de transmisión:

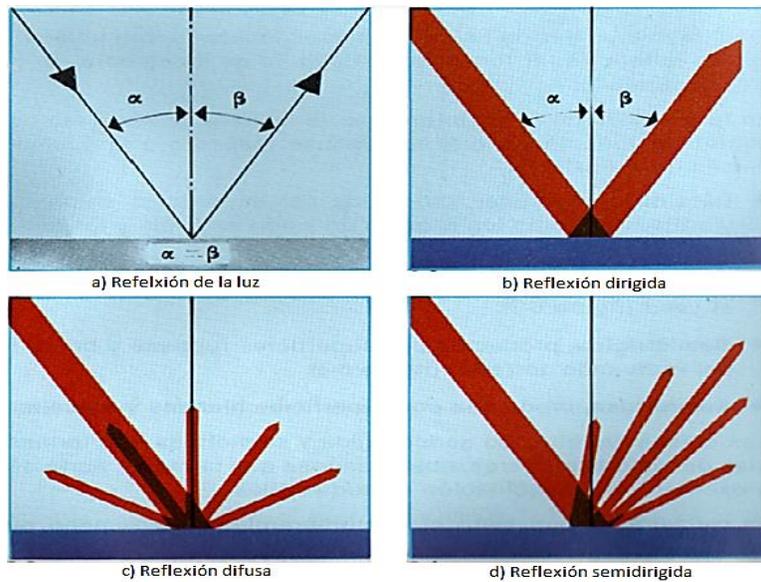


Ilustración 16. Propiedades de la luz.

Dirigida: se produce por los cuerpos transparentes, como el vidrio claro Ilustración 17.

Difusa: se produce por los cuerpos translúcidos muy densos, como vidrio muy opal Ilustración 17. La transmisión difusa evita el deslumbramiento.

Semidirigida: se produce por los cuerpos menos transparentes como el vidrio mateado Ilustración 18.

Semidifusa: que se produce por los cuerpos translúcidos menos densos, como el vidrio ligeramente opal Ilustración 18.

Asimismo son formas mixtas de las dos primeras clases de transmisión, la semidirigida y semidifusa. Según sea la forma que se dé al medio transparente (ángulo del prisma exactamente calculado), así será la desviación que se obtenga del rayo luminoso.

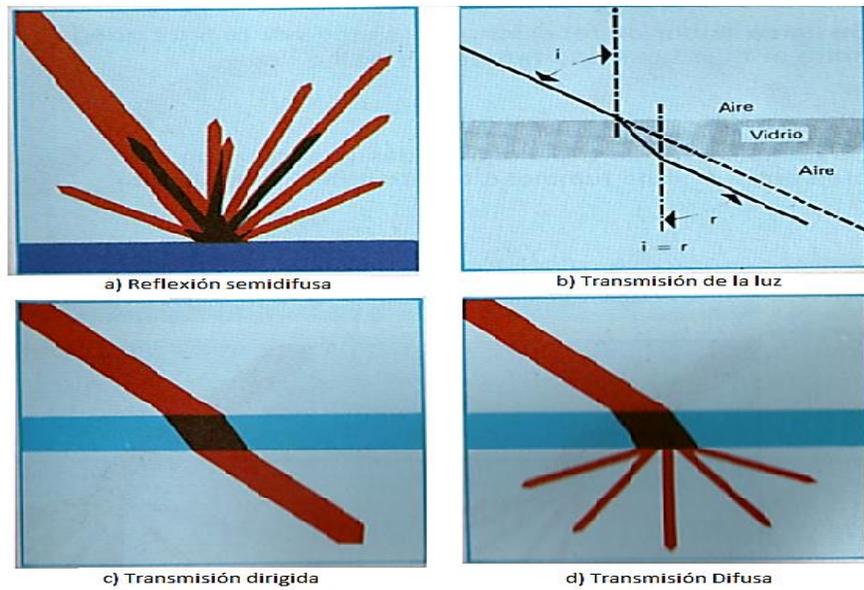


Ilustración 17. Propiedades de la luz.

Absorción: En los fenómenos de reflexión y transmisión, parte de la luz que incide sobre los cuerpos es absorbida en mayor o menor proporción según la constitución de los materiales que los componen. De aquí que los fenómenos de reflexión, transmisión y absorción tengan una estrecha relación entre sí. La absorción juega un papel importante en el color de los cuerpos y siempre presenta una pérdida de luz.

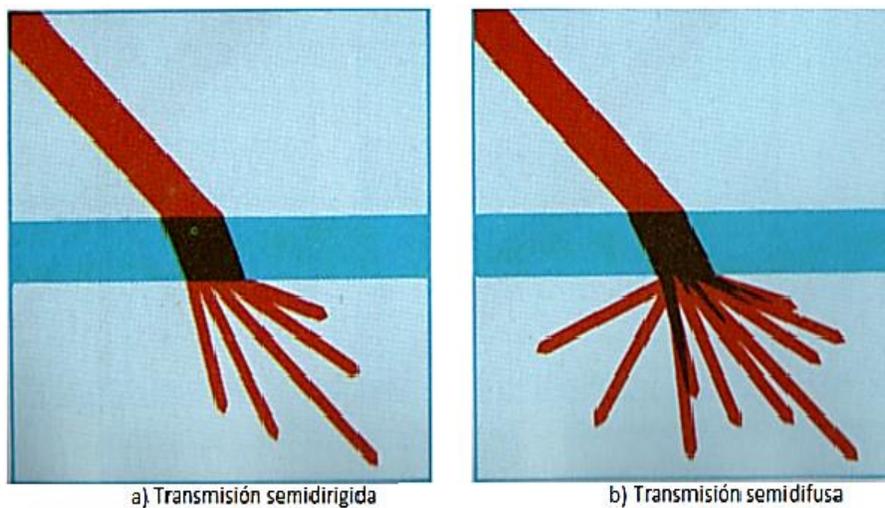


Ilustración 18. Propiedades de la luz.

Los coeficientes de reflexión ( $\rho$ ), el de transmisión ( $\alpha$ ) y el de absorción ( $\tau$ ) son distintos en un mismo material para las distintas longitudes de onda, de donde se deriva el “color del objetos”.

#### 1.5.10. Definición De Iluminación

Se exponen diferentes definiciones hoy en día conferidas a la iluminación [15]:

- En Francia el término iluminación (*lumiére*), se enfoca en los beneficios de la luz, probablemente para indicar que el trabajo del diseñador de la iluminación, no consiste en iluminar un espacio oscuro sino más bien en crear a partir de la luz. Como también el término alemán *lichtregie* (puesta en escena de la luz) o el inglés *lightingdesign* (diseño de la iluminación), subrayan el papel focalizador de la luz en la escenificación. Adolphe Appia (1954, fundador de la iluminación moderna) señala la importancia de la luz puesta al servicio del actor: “La luz posee una elasticidad casi milagrosa. Contiene todos los grados de la claridad, todas las posibilidades del color como la paleta del pintor, todas las movilidades; puede crear sombras, difundir en el espacio la armonía de sus vibraciones exactamente igual como lo haría la música. Con ella poseemos toda la capacidad expresiva del espacio si este espacio es puesto al servicio del actor”.
- En general la iluminación: es aquel sistema de iluminación cuya principal finalidad es facilitar la visualización de las cosas en unas condiciones aceptables de eficacia, comodidad y seguridad.

#### 1.6. EL PAPEL DEL PROYECTISTA O DISEÑADOR DE LA ILUMINACIÓN

Mc Candless (1927, arquitecto considerado como el padre del diseño moderno de iluminación), pionero en la enseñanza de la iluminación en su libro “A Syllabus of StageLighting” escribió sobre los objetivos de la iluminación: “El diseño de iluminación puede ser definido como el uso de la luz para crear una sensación de visibilidad, naturalismo, composición y emoción”. A partir de estos legados se define un perfil sistemático de la iluminación, estableciéndose una cantidad de herramientas que, usadas libremente, conforman las propiedades controlables de la luz las cuales son [15]:

- Intensidad
- Posición
- Distribución-forma
- Tiempo-movimiento
- Color

#### 1.6.1. Intensidad

Es la cantidad de luz o de brillo que se percibe en el iluminado. Se analiza fundamentalmente la sensación provocada al sujeto perceptor mediante un estímulo lumínico proveniente de una fuente de luz. Esta percepción va a depender fundamentalmente del contraste relativo con entorno.

La intensidad puede ser controlada mediante la atenuación de potencia, el uso de colores o elementos y filtros moduladores de la luz.

#### 1.6.2. Posición

La ubicación de la fuente de luz es probablemente el elemento más importante de comprender. Dramáticamente es modificadora de sensaciones y emociones y hace que los objetos cambien sustancialmente su apariencia, provocando significados distintos en el observador. Es tan importante la luz como la sombra provocada.

#### 1.6.3. Distribución y forma

Distribución: analizaremos aquí los aspectos morfológicos de la fuente de luz: su dirección, tamaño, forma, textura, densidad, apariencia general. Se analizan los aspectos morfológicos del iluminante (fuente de luz).

Dirección: Primeramente sea dividido, según Appia [15], las fuentes de luz en directas e indirectas. Directas son aquellas que emiten luz en dirección al objeto iluminado. Indirectas son aquellas que emiten luz hacia una superficie que refleja luz sobre el objeto a iluminar. La dirección de la luz no es hacia el objeto sino hacia la superficie reflejante. La fuente de luz puede ser focalizada, cuando todos sus haces de luz están direccionados dentro de un rango angular definido, o no focalizada cuando la fuente de luz irradia en

todas las direcciones (caso de una lámpara incandescente montada en un portalámparas). En las fuentes de luz focalizada hay que considerar además dos tipos de emisión: el haz primario, producto de la óptica de la fuente de luz, que en inglés se denomina “beam”, y el haz secundario (en inglés “field”), no siempre presente, proveniente de direcciones no controladas de emisión, que generan un anillo perimetral alrededor del haz principal, de menor intensidad.

Forma y tamaño: la emisión lumínica puede ser rectangular, circular ovalada, informe, según la fuente de luz emisora. Puede variar su tamaño según su ángulo si es focalizada o según su distancia si no es focalizada.

#### 1.6.4. Tiempo Y Movimiento

Una cualidad que comparten el sonido y la luz es su variación en el tiempo. La luz en particular puede sugerir al perceptor la acción tanto del tiempo como la de una traslación o un transcurrir en el espacio. Se divide en tres efectos básicos [15]:

- El tiempo de duración de un efecto de luz.
- El movimiento a vista del iluminante (luz que se percibe en movimiento).
- El movimiento no visto del iluminante (luz que no se percibe en movimiento).

#### 1.6.5. Color

Los colores desencadenan intensas emociones en el ser humano. Al igual de lo que sucede con los sonidos y melodías, los colores son capaces de iluminar o ensombrecer nuestro estado de ánimo y de afectar nuestra subjetividad de muy diversas maneras. En un experimento relativamente reciente, un grupo de personas fue invitado a degustar unas tazas de café, a la primera que le ofrecieron la calificaron de demasiado fuerte y amarga, en cambio la segunda, resultó demasiado floja, mientras que la tercera fue plenamente satisfactoria. En este estudio participaron 200 personas. El 84 % de ellas consideraron que la tercera taza presentaba un café aromático y de excelente sabor. Lo que no sabían los 200 participantes de este test (realizado en Estados Unidos por un grupo de investigadores de mercado) era que les habían servido siempre el mismo producto, primero en una cafetera marrón, luego en otra amarilla y finalmente en una de color rojo.

Bastó con modificar el color del envase para convencer a la mayoría que se trataba de diferentes clases de café. Este es un ejemplo más de la paradoja señalada por Brusatin: “Los colores son el engaño más serio” [15].

El color cumple un papel relevante en nuestras vidas por su inmediatez comunicacional. Es un elemento protagónico en la configuración de la imagen misma y un múltiple portador de significaciones (históricas, sociales, estéticas y religiosas), que siempre está en relación a un contexto cultural determinado.

El color es una de las características más importantes de las radiaciones visibles. Estas radiaciones, además de suministrar una impresión luminosa, proporcionan una sensación del color de los objetos que nos rodean. Dentro del espectro visible, pueden clasificarse una serie de franjas, cada una de las cuales se caracteriza por producir una impresión distinta, característica peculiar de cada color.

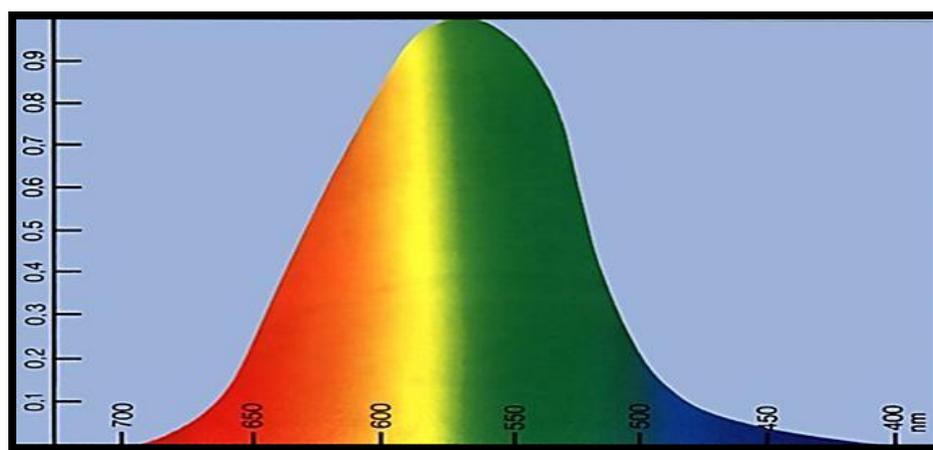


Ilustración 19: Curva Internacional de Sensibilidad del ojo humano.

De la ilustración anterior resulta interesante ver el comportamiento del ojo humano para cada una de las radiaciones. Como se puede observar no todas las longitudes de ondas producen la misma impresión luminosa y que la radiación que más impresión casusa es la correspondiente a una longitud de onda de 550nm, propia del color amarillo verde. Esta impresión va decreciendo a derecha e izquierda del valor máximo característico, siendo

para los colores rojo y violeta los que daban una menor impresión. Por lo tanto el rango de ondas de la luz que es visible por las personas está entre 380nm y 780nm [16].

Un dato digno de tener presente en iluminación es el conocido con el nombre de "Temperatura del Color". Considerado el cuerpo negro como radiante teóricamente perfecto, este va cambiando de color a medida que vamos aumentando su temperatura, adquiriendo al principio el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo, el blanco, el blanco azulado, y finalmente el azul.

Temperatura del Color: se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de esta con el color del cuerpo negro a una determinada temperatura. Así, por ejemplo, el color de la llama de una vela es similar al de un cuerpo negro calentado a 1.800K, por lo que se dice que la temperatura de color de la llama de una vela es de 1.800K. La temperatura de color solamente puede ser aplicada a aquellas fuentes de luz que tengan una semejanza con el color del cuerpo negro, como por ejemplo la luz del día, la luz de las lámparas incandescentes, la luz de las lámparas fluorescentes, etc. El color de las lámparas de vapor de sodio, no coincide con el color del cuerpo negro a ninguna temperatura, por lo que ni pueden ser comparadas con él, ni se les puede asignar ninguna temperatura de color. Seguidamente se presentan algunas temperaturas de color [17]:

Cielo Azul 20.000K	Cielo Nublado 7.000K
Luz Solar Directa 5.000K	Luz de Velas 1.800K
Lámparas Fluorescentes	Lámparas Incandescentes
Blanco Cálido 3.000K	Normales 2.600K
Luz Día 6.500K	Halógenas 3.100K

Tabla 1: Temperaturas de color.

### 1.7. Las Necesidades Lumínicas del Ser Humano y el Bienestar.

Necesidades lumínicas ópticas y no-ópticas del ser humano son complejas: las emociones, las acciones, la percepción, y la salud son influenciadas por la iluminación.

Los seres humanos poseen una capacidad extraordinaria para adaptarse a su ambiente y a su entorno inmediato. De todos los tipos de energía que pueden utilizar los humanos, la luz es la más importante. La luz es un elemento esencial de nuestra capacidad de ver y necesaria para apreciar la forma, el color y la perspectiva de los objetos que nos rodean en nuestra vida diaria. La mayor parte de la información que obtenemos a través de nuestros sentidos la obtenemos por la vista (cerca del 80 %). Y al estar tan acostumbrados a disponer de ella, damos por supuesta su labor. Ahora bien, no debemos olvidar que ciertos aspectos del bienestar humano, como nuestro estado mental o nuestro nivel de fatiga, se ven afectados por la iluminación y por el color de las cosas que nos rodean. Desde el punto de vista de la seguridad en el trabajo, la capacidad y el confort visuales son extraordinariamente importantes, ya que muchos accidentes se deben, entre otras razones, a deficiencias en la iluminación o a errores cometidos por el trabajador, a quien le resulta difícil identificar objetos o los riesgos asociados con la maquinaria, los transportes, los recipientes peligrosos, etc. Los trastornos visuales asociados con deficiencias del sistema de iluminación son habituales en los lugares de trabajo. Dado que la vista es capaz de adaptarse a situaciones de iluminación deficiente, a veces no se tienen estos aspectos en cuenta con la seriedad que se debería.

El correcto diseño de un sistema de iluminación debe ofrecer las condiciones óptimas para el confort visual. Para conseguir este objetivo, debe establecerse una primera línea de colaboración entre arquitectos, diseñadores de iluminación y los responsables de higiene en el trabajo, que debe ser anterior al inicio del proyecto, con el fin de evitar errores que pueda ser difícil corregir una vez terminado. Entre los aspectos más importantes que es preciso tener en cuenta, el tipo de lámpara y el sistema de alumbrado que se va a instalar, la distribución de la luminancia, la eficiencia de la iluminación y la composición espectral de la luz. A continuación se mencionan los factores que determinan el confort visual. Los requisitos que un sistema de iluminación debe cumplir para proporcionar las condiciones necesarias para el confort visual son los siguientes [17]:

- Iluminación uniforme.
- Luminancia óptima.

- Ausencia de brillos deslumbrantes.
- Condiciones de contraste adecuadas.
- Colores correctos.
- Ausencia de luces intermitentes o efectos estroboscópicos.

A continuación se presentas algunos niveles de iluminación según la actividad de trabajo a realizar, según norma UNE 1246-1 [17].

<b>1. Jardines de infancia y guarderías</b>					
Nº ref	Tipo de interior, tarea y actividad	$E_m$ lux	UGR <sub>L</sub>	R <sub>a</sub>	Observaciones
1.1	Sala de juegos	300	19	80	
1.2	Guardería	300	19	80	
1.3	Sala de manualidades	300	19	80	
<b>2. Edificios Educativos</b>					
2.1	Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	- La iluminación debería ser controlable
2.2	Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	- La iluminación debería ser controlable
2.3	Sala de lectura	500	19	80	- La iluminación debería ser controlable
2.4	Pizarra	500	19	80	- Evitar reflexiones especulares
2.5	Mesa de demostraciones	500	19	80	- En salas de lectura 750 lux
2.6	Aulas de arte	500	19	80	
2.7	Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	90	- T <sub>cp</sub> ≥ 5.000 K
2.8	Aulas de dibujo técnico	750	16	80	
2.9	Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	80	
2.10	Aulas de manualidades	500	19	80	
2.11	Talleres de enseñanza	500	19	80	
2.12	Aulas de prácticas de música	300	19	80	
2.13	Aulas de prácticas de informática	300	19	80	
2.14	Laboratorios de lenguas	300	19	80	
2.15	Aulas de preparación y talleres	500	22	80	
2.16	Halls de entrada	200	22	80	

Tabla 2: Niveles de iluminación en edificios educativos según norma UNE 1246-1.

## 2. Edificios Educativos (continuación)

Nº ref	Tipo de interior, tarea y actividad	$E_m$ lux	UGR <sub>L</sub>	R <sub>a</sub>	Observaciones
2.17	Áreas de circulación, pasillos	100	25	80	
2.18	Escaleras	150	25	80	
2.19	Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	80	
2.20	Salas de profesores	300	19	80	
2.21	Biblioteca: estanterías	200	19	80	
2.22	Biblioteca: salas de lectura	500	19	80	
2.23	Almacenes de material de profesores	100	25	80	
2.24	Salas de deporte, gimnasios piscinas (uso general)	300	22	80	- Para actividades más específicas, se deben usar los requisitos de la norma EN 12193
2.25	Cantinas escolares	200	22	80	
2.26	Cocina	500	22	80	

Tabla 3: Continuación de niveles de iluminación en edificios educativos según norma UNE 1246-1.

## I. Oficinas

Nº ref	Tipo de interior, tarea y actividad	$E_m$ lux	UGR <sub>L</sub>	R <sub>a</sub>	Observaciones
1.1	Archivo, copias, etc	300	19	80	
1.2	Escritura, escritura a máquina, lectura y tratamiento de datos	500	19	80	
1.3	Dibujo técnico	750	16	80	
1.4	Puestos de trabajo de CAD	500	19	80	
1.5	Salas de conferencias y reuniones	500	19	80	- La iluminación debería ser confortable
1.6	Mostrador de recepción	300	22	80	
1.7	Archivos	200	25	80	

Tabla 4: Niveles de iluminación en oficinas según norma UNE 1246-1.

Niveles de iluminación según la actividad de trabajo a realizar, Decreto no. 89. Del Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo de El Salvador [18].

<b>A: ZONAS DE CIRCULACIÓN Y ÁREAS GENERALES INTERIORES</b>				
<b>LUGAR O ACTIVIDAD</b>	<b>Em<sup>(1)</sup></b>	<b>UGR<sup>(2)</sup></b>	<b>Ra<sup>(3)</sup></b>	<b>Observaciones<sup>(4)</sup></b>
Zonas de circulación				
Pasillos y vías de circulación	100	28	40	A nivel del suelo. Si hay circulación de vehículos, aumentar a 150 lux
Escaleras normales y escaleras mecánicas	150	25	40	
Muelles de carga/descarga	150	25	40	
Salas de descanso, primeros auxilios y sanitarios				
Comedores	200	22	80	
Salas de descanso	100	22	80	
Salas de ejercicios físicos	300	22	80	
Vestuarios, servicios y aseos	100	25	80	
Enfermería	500	19	80	
Sala de atención médica	500	19	90	Temperatura de color Tc <sup>3</sup> 4000° K
Salas de Control				
Salas de calderas, interruptores, etc.	200	25	60	
Centralistas, salas de fax	500	19	80	
Salas de almacén y cámaras refrigeradas				
Almacenes	100	25	60	200 lux si están ocupados continuamente
Áreas de embalado	300	25	60	
Áreas de almacenamiento en estanterías				
Pasillos sin trabajadores	20	-	40	
Pasillos con trabajadores	200	22	60	
Puestos de control	200	22	60	
<b>B: ACTIVIDADES INDUSTRIALES Y ARTESANALES</b>				
<b>LUGAR O ACTIVIDAD</b>	<b>Em<sup>(1)</sup></b>	<b>UGR<sup>(2)</sup></b>	<b>Ra<sup>(3)</sup></b>	<b>Observaciones<sup>(4)</sup></b>
Actividades agrícolas				
Carga de productos, manipulación de equipos y maquinaria	200	25	80	
Establos y cuadras	50	-	40	
Paritorios y establos para animales enfermos	200	25	60	
Preparación del pienso, ordeño y lavado de utensilios	200	25	60	
Panaderías				
Preparación de la masa y elaborado del pan	300	22	80	
Acabado y decorado	500	22	80	
Industria del cemento y hormigón				
Secado	50	28	20	
Preparación de materiales, hornos y mezcladoras	200	28	20	
Trabajo con maquinaria en general	300	25	80	
Moldeado de briquetas	300	25	80	
Industria cerámica y del vidrio				
Secado	50	28	20	
Reparación y trabajo con maquinaria en general	300	25	80	
Esmaltado, grabado, pulido, operaciones	750	19	80	

Tabla 5: niveles de iluminación en áreas generales interiores según Decreto no. 89. Del Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo de El Salvador.

Lectura, escritura, mecanografía, proceso de datos	500	19	80	Acondicionar las pantallas de visualización
Dibujo técnico	750	16	80	
Diseño asistido (CAD)	500	19	80	Acondicionar las pantallas de visualización
Salas de reunión	500	19	80	
Puestos de recepción	300	22	80	
Almacenes	200	25	80	

LUGAR O ACTIVIDAD	D: TIENDAS			Observaciones(4)
	Em(1)	UGR(2)	Ra(3)	
Áreas de venta al público	300	22	80	Tanto Em como UGR están determinadas por el tipo de tienda
Puesto de cajero/a	500	19	80	
Mesa de empaquetado	500	19	80	

Tabla 6: niveles de iluminación en áreas generales interiores oficinas y tiendas según Decreto no. 89. Del Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo de El Salvador.

## 1.7. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

### 1.7.1. Clasificación Según Fuentes

Natural: La fuente más importante es el sol. Es un aspecto que va ligado a la arquitectura industrial, y por lo tanto, es uno de los factores más difíciles de modificar o adaptar.

Artificial: Se basa fundamentalmente en la generación controlada de la luz, aprovechando algunos fenómenos de termo radiación y luminiscencia que pueden lograrse dentro de las unidades de iluminación conocidas como lámparas. A continuación se presentan las principales fuentes de luz artificial y se enuncian sus principales características [19].

Tipo de Lámpara	Rangos de potencia.	Tono de Luz	Ra	Lm/W	Vida Media, h	Aplicación
Incandescentes halógenas de baja tensión	5-100	Cálido	100	10-25	2000-3500	Localizada Decorativa
Fluorescencia lineal de 26 mm.	18-58	Cálido Neutro Frío	70-90	65-96	8000-16000	General
Fluorescencia lineal de 16 mm.	14-80	Cálido Neutro Frío	85	80-105	12000-16000	General
Fluorescencia compacta	5-55	Cálido Neutro Frío	85-98	60-85	8000-12000	General Localizada Decorativa
Vapor de Mercurio	50-1000	Cálido Neutro	50-60	30-60	12000-16000	General
Halogenuros metálicos	35-3500	Cálido Neutro Frío	65-85	70-91	6000-10000	General Localizada
Sodio Alta Presión	30-1000	Cálido	20-80	50-150	10000-25000	General

Tabla 7: Características principales de fuentes de luz artificial.

El interés por la iluminación natural ha aumentado recientemente. Y no se debe tanto a la calidad de este tipo de iluminación como al bienestar que proporciona. Pero como el nivel de iluminación de las fuentes naturales no es uniforme, se necesita un sistema de iluminación artificial.

**Lámparas LED:** Son lámparas de estado sólido de diodos emisores de luz. Debido a que la luz capaz de emitir un LED no es muy intensa, estas las lámparas están compuestas por agrupaciones de LED, en mayor o menor número, según la intensidad luminosa deseada. Hay varias tecnologías de fabricación, como, diodos convencionales LED, OLED (organic light-emitting diodes), PLED (polymer LEDs), etc.

Los LED emiten luz en una banda de longitudes de onda muy estrecha (fuertemente coloreada). El color es característico de la banda prohibida de energía de un material semiconductor usado para fabricar el LED. Hay dos métodos para emitir luz blanca: combinar LED de luz roja, verde y azul, o bien usar alguna sustancia fosforescente.

El primer método se denomina LED RGB, usan diferentes LED cada uno emitiendo una longitud de onda diferente. La ventaja de este método es que la intensidad de cada LED puede ser ajustada para afinar las propiedades de la luz emitida. La mayor desventaja es su alto costo de producción.

El segundo método, usa un LED de corta longitud de onda (normalmente azul o ultravioleta) en combinación con una sustancia fosforescente, la cual absorbe una porción de la luz azul y emite un espectro más amplio de luz blanca (parecido a una fluorescente). La mayor ventaja aquí es el costo de producción bajo, alto Ra, pero es incapacidad de variar dinámicamente el carácter de la luz. A su vez la conversión de fosforescencia reduce la eficiencia del dispositivo. El bajo costo y el desempeño adecuado lo hace la tecnología más utilizada para la iluminación general hoy en día. Los diodos funcionan con energía eléctrica de corriente continua (CC), de modo que las lámparas de LED deben incluir circuitos internos para operar desde el voltaje CA estándar. Los LED se dañan a altas temperaturas por lo que suelen disponer de disipadores.

Algunas diferencias de los LEDs frente a las lámparas fluorescentes son: no contienen mercurio, su vida útil no se ve afectada por los apagados y encendidos, son más robustas a vibraciones e impactos. También hay que destacar que gracias al pequeño tamaño de las lámparas LED y sus posibilidades de control (sin pérdida de eficiencia), es posible hacer su disposición espacial de manera totalmente flexible.

Las lámparas LED son tan eficientes como las fluorescentes, pero su mayor ventaja es su duración, alrededor de 50000 h (25-30 años con un uso normal) frente a las 8000 h de las fluorescentes. Además presentan una baja disminución de la intensidad lumínica durante su vida. La larga vida de estas lámparas supone un problema para los fabricantes, cuyos clientes actualmente compran repuestos frecuentemente. Están disponibles LED de diferentes colores. A parte de LED de luz blanca pueden resultar interesantes LED monocromáticos, como los que se usan en los semáforos o en los adornos de navidad. Entre los mercados de las lámparas LEDs se encuentran la jardinería y la agricultura. Esta tecnología es utilizada por la NASA para cultivar plantas en el espacio.

Las longitudes de onda de la luz emitida por las lámparas LED han sido adaptadas para suministrar la luz en el rango espectral necesaria para la absorción de la clorofila en las plantas, y así promover el crecimiento y reducir la emisión en otras longitudes de onda que las plantas no necesitan. Se suelen usar los espectros de luz roja y azul para estos propósitos. Estas luces son atractivas para los cultivadores de interior ya que utilizan menos energía que otros tipos de la misma intensidad de la luz, no necesitan balastos, y emiten mucho menos calor. La reducción de calor permite que el tiempo entre ciclos de riego se extienda porque las plantas transpiran menos.

El proceso de producción LED es complejo y aún estamos en las primeras generaciones de lámparas LED. Por tanto, hay muchos aspectos donde se puede seguir mejorando, principalmente en la buena reproducción de colores a bajo coste, y en la mejora de las características térmicas, por lo que las previsiones demuestran una bajada de precio.

Los sistemas de iluminación más utilizados son los siguientes [17]:

### 1.7.2. Iluminación General Uniforme

En este sistema, las fuentes de luz se distribuyen uniformemente sin tener en cuenta la ubicación de los puestos de trabajo. El nivel medio de iluminación debe ser igual al nivel de iluminación necesario para la tarea que se va a realizar. Son sistemas utilizados principalmente en lugares de trabajo donde no existen puestos fijos.

Debe tener tres características fundamentales: primero debe de estar equipado con dispositivos antibrillos (rejillas, difusores, reflectores, etcétera). Segundo debe distribuir una fracción de la luz hacia el techo y la parte superior de las paredes, y tercero, las fuentes de luz deben instalarse a la mayor altura posible, para minimizar los brillos y conseguir una iluminación lo más homogénea posible.

### 1.7.3. Iluminación General E Iluminación Localizada De Apoyo

Se trata de un sistema que intenta reforzar el esquema de la iluminación general situando lámparas junto a las superficies de trabajo. Las lámparas suelen producir deslumbramiento y los reflectores deberán situarse de modo que impidan que la fuente de luz quede en la línea directa de visión del trabajador. Se recomienda utilizar iluminación localizada cuando las exigencias visuales sean cruciales, como en el caso de los niveles de iluminación de 1.000 lux o más. Generalmente, la capacidad visual del trabajador se deteriora con la edad, lo que obliga a aumentar el nivel de iluminación general o a complementarlo con iluminación localizada.

### 1.7.4. Iluminación General Localizada

Es un tipo de iluminación con fuentes de luz instalado en el techo y distribuido teniendo en cuenta dos aspectos: las características de iluminación del equipo y las necesidades de iluminación de cada puesto de trabajo. Está indicado para aquellos espacios o áreas de trabajo que necesitan un alto nivel de iluminación y requiere conocer la ubicación futura de cada puesto de trabajo con antelación a la fase de diseño.

## 1.8. ESTUDIO DE ILUMINACIÓN

### 1.8.1. Parámetros Principales A Considerar

Los parámetros de calidad de la instalación aceptados como mínimos, son los que se establecen en la norma UNE 12464-1, "Iluminación en lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo interiores".

Dentro de la norma UNE 12464-1, hay que prestar especial interés a los valores de deslumbramiento directo (UGR) e indirecto (límite de luminancia en luminarias con flujo hacia el hemisferio inferior;  $\frac{cd}{m^2} < 65$ ), ya que en las instalaciones actuales estos parámetros de calidad suelen no ser considerados. En el estudio de iluminación los parámetros mínimos de cálculo que se tienen que obtener para cada zona son [20]:

- Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI).
- Iluminancia media mantenida ( $E_m$ ) en el plano de trabajo.
- Índice de deslumbramiento unificado (UGR) para el observador.
- El índice del local (K) utilizado en el cálculo.
- El número de puntos considerados en el proyecto.
- El factor de mantenimiento ( $F_m$ ) previsto.

El índice de uniformidad de la iluminancia (U). Así mismo se deberán indicar el índice de rendimiento cromático (Ra) y las potencias de los conjuntos de lámparas y equipo auxiliar. El cálculo se puede realizar manualmente o bien mediante ordenador (por ejemplo con el programa Dialux).

### 1.8.2. Mantenimiento Y Conservación

El CTE (comité técnico de la edificación) obliga a elaborar un plan de mantenimiento de las instalaciones de iluminación, de manera que se garantice el mantenimiento de los parámetros luminotécnicos adecuados y de la eficiencia energética. Éste contemplará los periodos de reposición de las lámparas, los de la limpieza de luminarias, así como la metodología a emplear. Actualmente es práctica común hacer un mantenimiento puntual de las lámparas, lo cual impide garantizar las condiciones de calidad de la instalación.

### 1.8.3. Caracterización Y Cuantificación De Las Exigencias

Valor de Eficiencia Energética de la Instalación [20]:

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determinará mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEE (W/m<sup>2</sup>) por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:

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

Ecuación 5: Valor de Eficiencia Energética de la Instalación.

Dónde:

- P la potencia total instalada en lámparas más los equipos auxiliares (W).
- S la superficie iluminada (m<sup>2</sup>).
- E<sub>m</sub> la iluminancia media horizontal mantenida (lux).

Con el fin de establecer los correspondientes valores de eficiencia energética límite, las instalaciones de iluminación se identificarán, según el uso de la zona, dentro de uno de los 2 grupos siguientes:

a) Grupo 1: Zonas de no representación o espacios en los que el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, queda relegado a un segundo plano frente a otros criterios como el nivel de iluminación, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética;

b) Grupo 2: Zonas de representación o espacios donde el criterio de diseño, imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, son preponderantes frente a los criterios de eficiencia energética.

Los valores de eficiencia energética límite en recintos interiores de un edificio se establecen en la tabla 6. Estos valores incluyen la iluminación general y la iluminación de acento, pero no las instalaciones de iluminación de escaparates y zonas expositivas.

Grupo	Zonas de actividad diferenciada	VEEI limite
I Zonas de no representación	Administrativo en general	3.5
	Andenes de estaciones de transporte	3.5
	Salas de diagnóstico (4)	3.5
	Pabellones de exposición o ferias	3.5
	Aulas y laboratorios (2)	4
	Habitaciones de hospital (3)	4.5
	Zonas comunes (1)	4.5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Aparcamientos	5
	Espacios deportivos (5)	5
	Recintos interiores asimilables a grupo 1 no descritos en la lista anterior	4.5
2 Zonas de representación	Administrativo en general	6
	Estaciones de transporte (6)	6
	Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	6
	Bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	Zonas comunes en edificios residenciales	7.5
	Centros Comerciales (excluidas tiendas) (9)	8
	Hostelería y restauración (8)	10
	Religioso en general	10
	Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias (7)	10
	Tiendas y pequeño comercio	10
	Zonas comunes (1)	10
	Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	12
	Recintos interiores asimilables a grupo 2 no descritos en la lista anterior	10

Tabla 8: Valores límite de eficiencia energética de la instalación.

Definiciones de los espacios:

(1) Espacios utilizados por cualquier persona o usuario, como recibidor, vestíbulos, pasillos, escaleras, espacios de tránsito de personas, aseos públicos, etc.

(2) Incluye la instalación de iluminación del aula y las pizarras de las aulas de enseñanza, aulas de práctica de ordenador, música, laboratorios de lenguaje, aulas de dibujo técnico, aulas de prácticas y laboratorios, manualidades, talleres de enseñanza y aulas de arte, aulas de preparación y talleres, aulas comunes de estudio y aulas de reunión, aulas clases

nocturnas y educación de adultos, salas de lectura, guarderías, salas de juegos de guarderías y sala de manualidades.

(3) Incluye la instalación de iluminación interior de la habitación y baño, formada por iluminación general, iluminación de lectura e iluminación para exámenes simples.

(4) Incluye la instalación de iluminación general de salas como salas de examen general, salas de emergencia, salas de escáner y radiología, salas de examen ocular y auditivo y salas de tratamiento. Sin embargo quedan excluidos locales como las salas de operación, quirófanos, unidades de cuidados intensivos, dentista, salas de descontaminación, salas de autopsias y mortuorios y otras salas que por su actividad puedan considerarse como salas especiales.

(5) Incluye las instalaciones de iluminación del terreno de juego y graderíos de espacios deportivos, tanto para actividades de entrenamiento y competición, pero no se incluyen las instalaciones de iluminación necesarias para las retransmisiones televisadas. Los graderíos serán asimilables a zonas comunes del grupo 1.

(6) Espacios destinados al tránsito de viajeros como recibidor de terminales, salas de llegadas y salidas de pasajeros, salas de recogida de equipajes, áreas de conexión, de ascensores, áreas de mostradores de taquillas, facturación e información, áreas de espera, salas de congresos, etc.

(7) Incluye la instalación de iluminación general y de acento. En el caso de cines, teatros, salas de conciertos, etc. Se excluye la iluminación con fines de espectáculo, incluyendo la representación y el escenario. (8) Incluye los espacios destinados a las actividades propias del servicio al público como recibidor, recepción, restaurante, bar, comedor, auto-servicio o buffet, pasillos, escaleras, vestuarios, servicios, aseos, etc.

(9) Incluye la instalación de iluminación general y de acento de recibidor, recepción, pasillos, escaleras, vestuarios y aseos de los centros comerciales.

Calculo de la constante del local K [17]: frecuentemente se utiliza una técnica de estudio fundamentada en una cuadrícula de puntos de medición que cubre toda la zona analizada. La base de esta técnica es la división del interior en varias áreas iguales, cada una de ellas idealmente cuadrada. Se mide la iluminancia existente en el centro de cada área a la altura del tablero de una mesa (típicamente a 0,85 metros sobre el nivel del suelo) y se calcula un valor medio de iluminancia. En la precisión del valor de iluminancia media influye el número de puntos de medición utilizados.

Existe una relación que permite calcular el número mínimo de puntos de medición a partir del valor del índice de local (K) aplicable al interior analizado. Índice de local:

$$K = \frac{\text{Longitud} * \text{Anchura}}{\text{Altura de montaje} * (\text{Longitud} + \text{Anchura})}$$

Ecuación 6: Valor de la constante del local K.

Aquí, la longitud y la anchura son las dimensiones del recinto y la altura de montaje es la distancia vertical entre el centro de la fuente de luz y el plano de trabajo [17].

$$\text{Numero minimo de puntos de medicion} = (K + 2)^2$$

Ecuación 7: Número de puntos de medición.

Donde “K” es el valor del índice de local redondeado al entero superior, excepto que para todos los valores de K iguales o mayores que 3, el valor de k se toma como 4.

Constante del Salón	No. Mínimo de Puntos de Medición $(K + 2)^2$
Si $K \leq 1$ , se toma $K=1$	9
Si $1 < K \leq 2$ , se toma $K=2$	16
Si $2 < K \leq 3$ , se toma $K=3$	25
Si $K \geq 3$ , se toma $K=4$	36

Tabla 9: Relación de la constante del salon (K) y el número mínimo de puntos de medición [17].

Cálculo del índice de uniformidad de la iluminancia (U) [17]: Al analizar la iluminación de un área de trabajo y su entorno inmediato, es preciso tener en cuenta la variancia de la iluminancia o uniformidad de la iluminancia.

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

Ecuación 8. Fórmula para cálculo de uniformidad.

El área de tarea debe ser iluminada tan uniformemente como sea posible. La uniformidad del área de tarea y las aéreas circundantes inmediatas no deben ser mayores que los valores dados en la siguiente Tabla 10.

Iluminancia de tarea lux	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas lux
≥750	500
500	300
300	200
≤200	$E_{tarea}$
Uniformidad: ≥ 0,7	Uniformidad: ≥ 0,5

Tabla 10: Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de tarea.

Medición del deslumbramiento:

El deslumbramiento es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión y puede ser experimentado bien como deslumbramiento molesto o perturbador. El deslumbramiento causado por las reflexiones en superficies especulares es usualmente conocido como reflexiones de velo o de deslumbramiento reflejado.

Es importante limitar el deslumbramiento para evitar errores, fatiga y accidentes. En lugares de trabajo en interiores, el deslumbramiento molesto puede producirse directamente a partir de luminarias brillantes o ventanas. Si se satisfacen los límites de deslumbramiento molesto, el deslumbramiento perturbador no es usualmente un problema importante.

Nota: Es necesario un cuidado especial para evitar el deslumbramiento cuando la dirección de visión está por encima de la horizontal.

Deslumbramiento molesto. El índice del deslumbramiento molesto procedente directamente de las luminarias de una instalación de iluminación interior debe ser determinado utilizando el método de tabulación del índice de Deslumbramiento unificado de la CIE (UGR, Unified Glare Rating), basado en la fórmula:

$$UGR = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 w}{P^2} \right)$$

Ecuación 9. Fórmula para el cálculo del deslumbramiento.

Dónde:

$L_b$  Es la iluminancia de fondo en  $cdxm^{-2}$ , calculada como  $E_{ind} \times \pi^{-1}$ , en la que  $E_{ind}$  es la iluminancia indirecta vertical en el ojo del observador.

$L$  Es la iluminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador en  $cdxm^{-2}$ .

$W$  Es el ángulo solido (estereorradianes) de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador.

$P$  Es el índice de posición de Guth para cada luminaria individual que se refiere a su desplazamiento de la línea de visión.

Sistemas de control y regulación: Las instalaciones de iluminación dispondrán, para cada zona, de un sistema de regulación y control con las siguientes condiciones:

a) Toda zona dispondrá al menos de un sistema de encendido y apagado manual, cuando no disponga de otro sistema de control, no aceptándose los sistemas de encendido y apagado en cuadros eléctricos como único sistema de control. Las zonas de uso esporádico dispondrán de un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia o sistema de temporización.

b) Se instalarán sistemas de aprovechamiento de la luz natural, que regulen el nivel de iluminación en función del aporte de luz natural, en la primera línea paralela de luminarias situadas a una distancia inferior a 3 metros de la ventana.

## CAPITULO II

### 2.1. ANÁLISIS GENÉRICO

Lo primero que debemos conocer es dónde vamos a aplicar el estudio. Debemos conocer el edificio, su posición geográfica y su orientación, así como identificar las diferentes actividades que se van a desarrollar en sus locales. Es importante conocer los horarios, los periodos de ausencia, la edad de los usuarios, etc. Con ello podremos elegir las luminarias más adecuadas. A continuación se realiza la simulación por ordenador, para comprobar que los niveles de iluminación superan la normativa establecida para cada caso.

A continuación se describe el proceso que hemos seguido para afrontar el estudio del sistema de iluminación en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA), UES [19].

- a) Definición del área de trabajo y calculado de la constante del local K y puntos de medición. Identificación de las diferentes actividades que se van a desarrollar en su interior. Dentro de cada gran grupo de actividad (edificio de oficinas, centros educativos, hospitales, producción, hoteles y gastronomía, mayoristas y minoristas, exposición, etc.); hay que señalar la actividad y características de cada local.
- b) Realización de encuestas a los trabajadores y estudiantes en las distintas áreas laborales (laboratorios, salones de clases y oficinas) y mediciones de la iluminancia (E, en lux) en dichas áreas.
- c) Obtención de información y catálogos de luminarias instaladas en los diferentes recintos.
- d) Diseño en ordenador mediante el software DIALux evo 4, atendiendo a:
  - i. Dimensiones físicas: número de paredes, altura de techos, etc.
  - ii. Características constructivas del techo, paredes y suelo: grado de reflexión, color, transparencia, rugosidad, brillo, etc.
  - iii. Objetos y sus propiedades.

- iv. Texturas.
  - v. Superficies de cálculo. Son las superficies a tener en cuenta al realizar un cálculo. Su posición y dirección dependen del uso del local.
- e) Simulación y comprobación de resultados obtenidos en las mediciones.
- f) Cálculo y comparación de los valores luminotécnicos, con los valores establecidos en el decreto no. 89. Del Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo de El Salvador [18]. Los más importantes son la iluminancia, que nos indica el nivel de iluminación; el valor de eficiencia energética o VEEI, el valor del deslumbramiento UGR, la uniformidad, etc.

#### 2.1.1. Parámetros Luminotécnicos en Estudio.

Según decreto no. 89. Del Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo de El Salvador [18]. Juntamente con la norma UNE 12464-1 aplicable a los centros educativos Tabla 11.

Tipo de Interior, Tarea y Actividad	$E_m(lux)$	$UGR_L$	$R_a$	Observaciones
Oficinas (Escritura, Lectura y tratamiento de datos).	500	19	80	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La iluminación debe ser confortable</li> <li>• La iluminación debería ser controlable .</li> <li>• Evitar reflexiones especulares en pizarras.</li> <li>• <math>Tcp \geq 5000K</math></li> </ul>
Aulas y Oficinas de Dibujo Tecnico.	750	16	80	
Salas de Conferencia y Reuniones.	500	19	80	
Aulas y Aulas de Tutoria.	300	19	80	
Aulas para Clases Nocturnas y Educacion de Adultos.	500	19	80	
Aulas de Practicas y Laboratorios.	500	19	80	
Pizarra	500	19	80	
Aulas de Preparación y Talleres.	500	22	80	
Salas de Lectura.	500	19	80	
Aulas de Practicas informáticas.	300	19	80	

Tabla 11: Niveles de iluminación según la actividad de trabajo a realizar, Decreto no. 89. Del Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo de El Salvador [18].

### 2.1.2. Valor de Eficiencia Energética (VEE) [19].

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determina mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEE (W/m<sup>2</sup>) por cada 100 lux, mediante la siguiente expresión [19]:

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

Ecuación 10: Valor de Eficiencia Energética de la Instalación.

Dónde:

- P: la potencia total instalada en lámparas más los equipos auxiliares (W).
- S: la superficie iluminada (m<sup>2</sup>).
- Em: la iluminancia media horizontal mantenida (lux).

Con el fin de establecer los correspondientes valores de eficiencia energética límite, las instalaciones de iluminación se identificarán, según el uso de la zona, dentro de uno de los 2 grupos siguientes:

a) Grupo 1: Zonas de no representación o espacios en los que el criterio de diseño, la imagen o el estado de ánimo que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, queda relegado a un segundo plano frente a otros criterios como el nivel de iluminación, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética;

b) Grupo 2: Zonas de representación o espacios donde el criterio de diseño, imagen o el estado ánimo que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, son preponderantes frente a los criterios de eficiencia energética.

La zona de interés de nuestro estudio es la zona uno de no representación la cual se presenta en la siguiente Tabla 12, [20].

Grupo	Zonas de actividad diferenciadas	VEE Límite
I Zonas de no representación	Administrativo en general	3.5
	Andenes de estaciones de transporte	3.5
	Salas de diagnóstico (4)	3.5
	Pabellones de exposición o ferias	3.5
	Aulas y laboratorios (2)	4
	Habitaciones de hospital (3)	4.5
	Zonas comunes (1)	4.5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Aparcamientos	5
	Espacios deportivos (5)	5
	Recintos interiores asimilables a grupo 1 no descritos en la lista anterior	4.5

Tabla 12: Límites del valor de eficiencia energética de la instalación (Zona de no representación).

#### 2.1.1.1 Uniformidad

Cálculo del índice de uniformidad de la iluminancia (U) [17]: Al analizar la iluminación de un área de trabajo y su entorno inmediato, es preciso tener en cuenta la variancia de la iluminancia o uniformidad de la iluminancia.

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

#### Ecuación 11. Uniformidad dentro del local

El área de tarea debe ser iluminada tan uniformemente como sea posible. La uniformidad del área de tarea y las aéreas circundantes inmediatas no deben ser mayores que los valores dados en la siguiente Tabla 13.

Iluminancia de tarea lux	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas lux
≥750	500
500	300
300	200
≤200	$E_{tarea}$
Uniformidad: ≥ 0,7	Uniformidad: ≥ 0,5

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

### 2.1.1.2 Deslumbramiento

El deslumbramiento es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión y puede ser experimentado bien como deslumbramiento molesto o perturbador. El deslumbramiento causado por las reflexiones en superficies especulares es usualmente conocido como reflexiones de velo o de deslumbramiento reflejado. Es importante limitar el deslumbramiento para evitar errores, fatiga y accidentes.

En lugares de trabajo en interiores, el deslumbramiento molesto puede producirse directamente a partir de luminarias brillantes o ventanas los valores límites se muestran en la Tabla 11, el cual se calculara usando DIALux.

### 2.1.1.3 Grado de Mantenimiento [21]

Para definir el grado de mantenimiento debe tenerse en cuenta que además de la suciedad que se adhiere a las luminarias, algunos materiales usados en ellas , por ejemplo para controlar la luz, se deterioran con el tiempo causando una reducción gradual de la luz emitida.

La acumulación de mugre en las superficies de los salones, reducen el flujo luminoso reflejado sobre el plano de lujo, esto varía de una instalación a otra, pero es más significativo en salones pequeños, debido a que hay una influencia mayor del componente indirecto. Estas pérdidas se encuentran incluidas dentro de la Tabla 14.

Luminaria según tipo de local	Muy limpio	Limpio	Medio Limpio	Sucio	Muy sucio
Abierta no ventilada	0.9	0.8	0.71	0.64	0.56
Abierta ventilada	0.95	0.89	0.83	0.78	0.72
Cerrada	0.97	0.93	0.88	0.83	0.78
Vidrio Refractor o Cerrada y Filtrada	0.98	0.95	0.93	0.89	0.86

Tabla 14: FDLS (Factor de depreciación de las luminarias y el salón causado por la acumulación de mugre sobre lámparas, luminarias y superficies del salón).

## 2.2. ANÁLISIS POR ORDENADOR DIALUX

DIALux es un software de cálculo luminotécnico usado por diseñadores de iluminación, consultores, arquitectos, técnicos de iluminación, etc. Puede ser utilizado para el cálculo de iluminación interior y exterior. Permite la importación de archivos de AutoCAD para su estudio. Se caracteriza por ser capaz de calcular los niveles de iluminación debidos a luz directa e indirecta. El método de cálculo es denominado cálculo por radiosidad (6). Se basa en el principio de conservación de la energía, que asume que la luz que es proyectada sobre una superficie y no es absorbida por ésta, será remitida. La superficie también puede ser luminosa por sí misma. Los programas de cálculo de iluminación llevan usándose desde hace varias décadas, por lo que se ha podido comprobar la exactitud de los resultados. No obstante, hay que destacar que las causas de desviaciones más frecuentes son [19]:

- Desviación de los datos teóricos de luminosidad de la lámpara con los reales.
- Fuente de alimentación en el uso real, en comparación con laboratorios.
- Desviación en la temperatura de funcionamiento
- Desviación en el grado de reflexión de las superficies

### 2.2.1. Flujo de Trabajo en DIALux [1]

Tras abrir DIALux y crear un nuevo proyecto, debemos definir la ubicación del mismo. A continuación se muestra la configuración de la orientación del edificio de la escuela de ingeniería eléctrica FIA, UES. En la opción terreno del panel de ajuste de DIALux se encuentran la siguiente casilla Local; donde tenemos la opción de seleccionar el lugar de ubicación del edificio, como se puede observar en el área roja seleccionada que se muestra en la Ilustración 20, automáticamente DIALux nos llena las casillas de latitud (13.7) y longitud (-89.2 al oeste), la orientación hacia el norte es de 270° o de -90 al oeste.

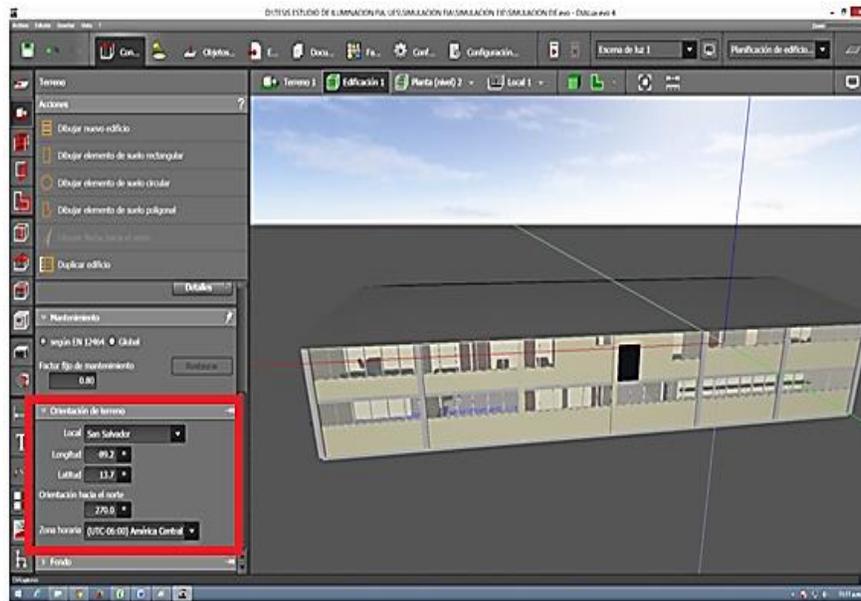


Ilustración 20: Configuración de la ubicación del edificio de ingeniería eléctrica en DIALux.

Luego al insertar un nuevo local al interior del edificio, deben definirse las dimensiones, el grado de mantenimiento. También deben indicarse las propiedades del suelo, techo, paredes y plano útil.



Ilustración 21: Laboratorio de telemática.

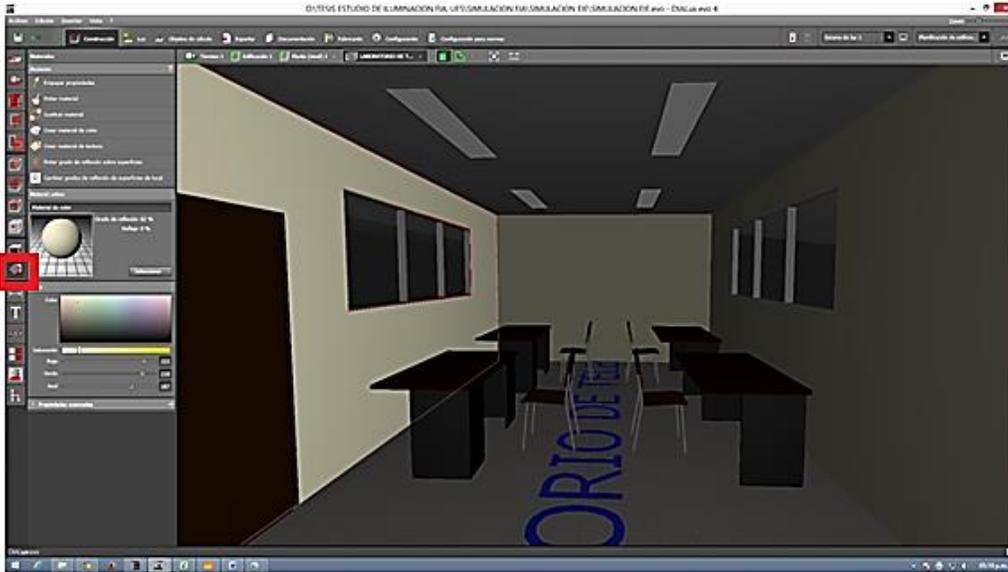


Ilustración 22: Panel de ajustes de propiedades del local en DIALux.

En la opción material la cual se encuentra seleccionada en la Ilustración 22, del panel de ajuste de DIALux donde se pueden definir las propiedades del suelo, techo, paredes y plano útil. Como también DIALux cuenta con catálogos de materiales y colores para los distintos objetos, estos se muestran en la Ilustración 23.

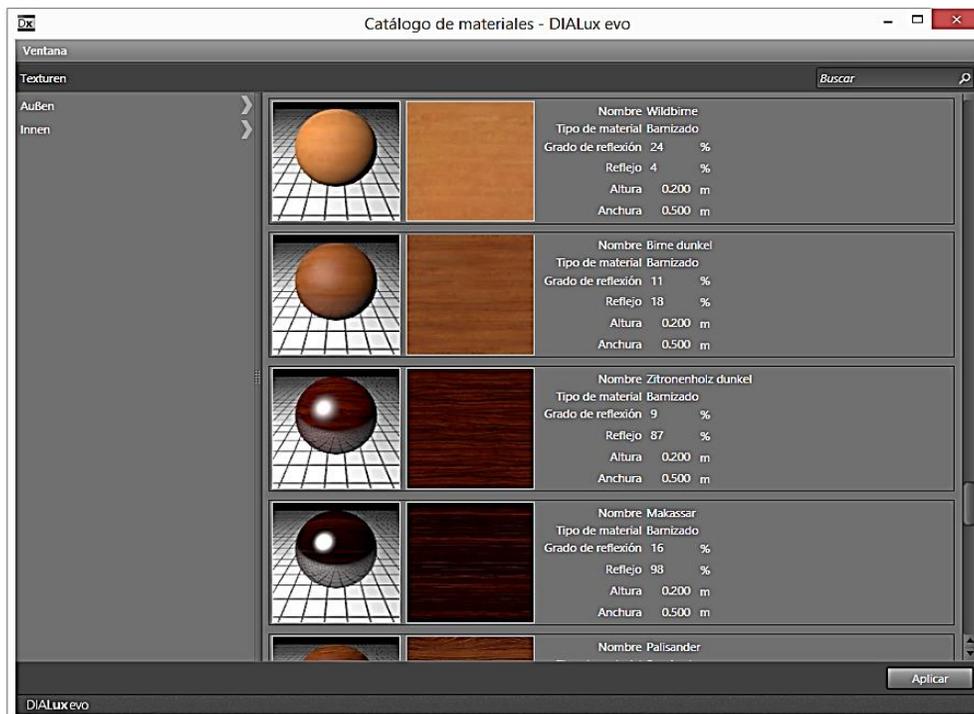


Ilustración 23: Catálogo de materiales de DIALux utilizados en el laboratorio de Telemática.

A continuación introducimos los objetos que se encuentran en el local, utilizando una biblioteca de objetos de DIALux Ilustración 24, o bien importando los mediante archivos de objetos 3D (DWG, DXF, etc.). Una vez introducido el objeto en el local podemos configurarlas propiedades de sus superficies, así como si queremos usarlo como objeto decorativo.

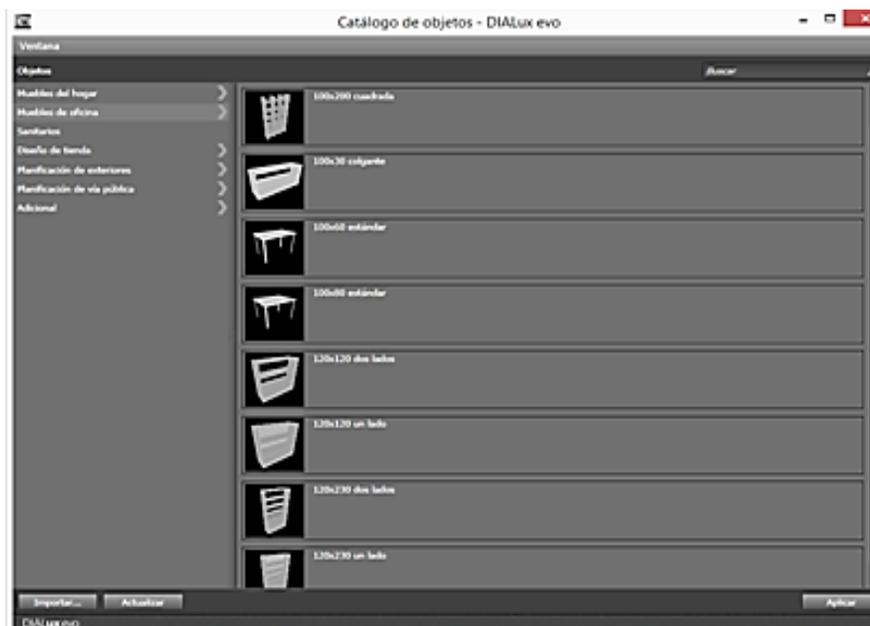


Ilustración 24: Catálogo de objetos DIALux.

Una vez definido el local y los objetos de su interior hay que insertar las luminarias. DIALux dispone de una biblioteca de luminarias, aunque también es posible importar los datos de otras luminarias mediante archivos IES y LDT.

Seleccionando la opción Luz de la barra superior de tareas de la ventana principal de DIALux, la cual se encuentra encerrada en un círculo rojo en la Ilustración 25, donde encontramos la opción Seleccionar; la cual nos despliega el historial de luminarias antes utilizadas y los catálogos de luminarias previamente instalados como se observa en la Ilustración 25, los catálogos disponibles son: SYLVANIA, PHILIPS Y LUMSEARCH. Las lámparas instaladas en los locales de estudio en la FIA, UES, son lámparas fluorescentes de 32Watts y de 40Watts PHILIPS o SYLVANIA, de las cuales no se encontraron los archivos IES, sin embargo con las hojas técnicas de estas lámparas se han configurado sus características en DIALux, como se muestran en las Ilustración 26 e Ilustración 27.



Ilustración 25: Biblioteca de luminarias de DIALux.

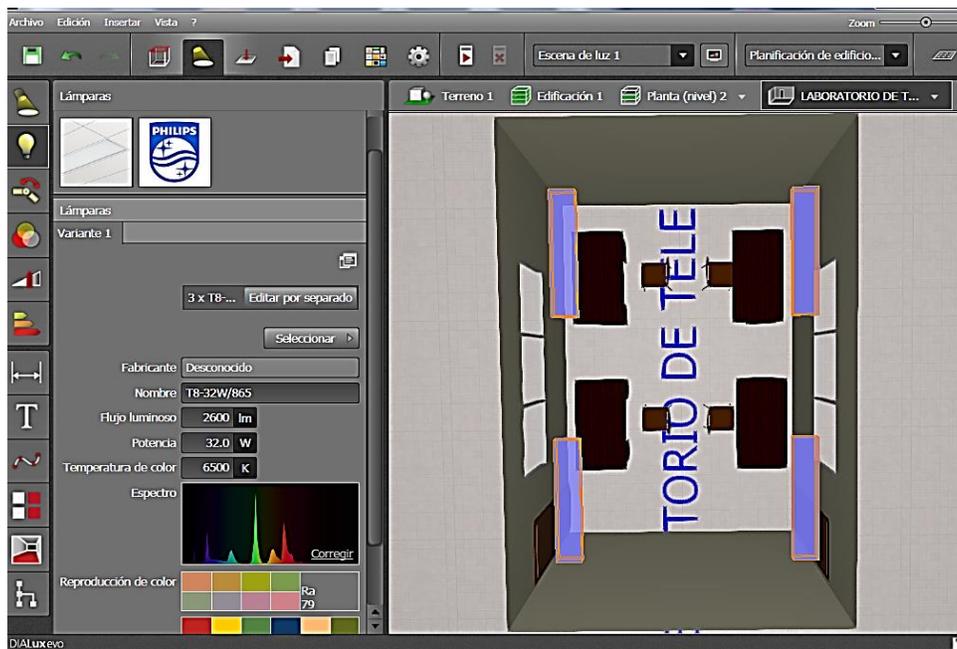


Ilustración 26: Configuración de la lámpara fluorescente de 32Watts.

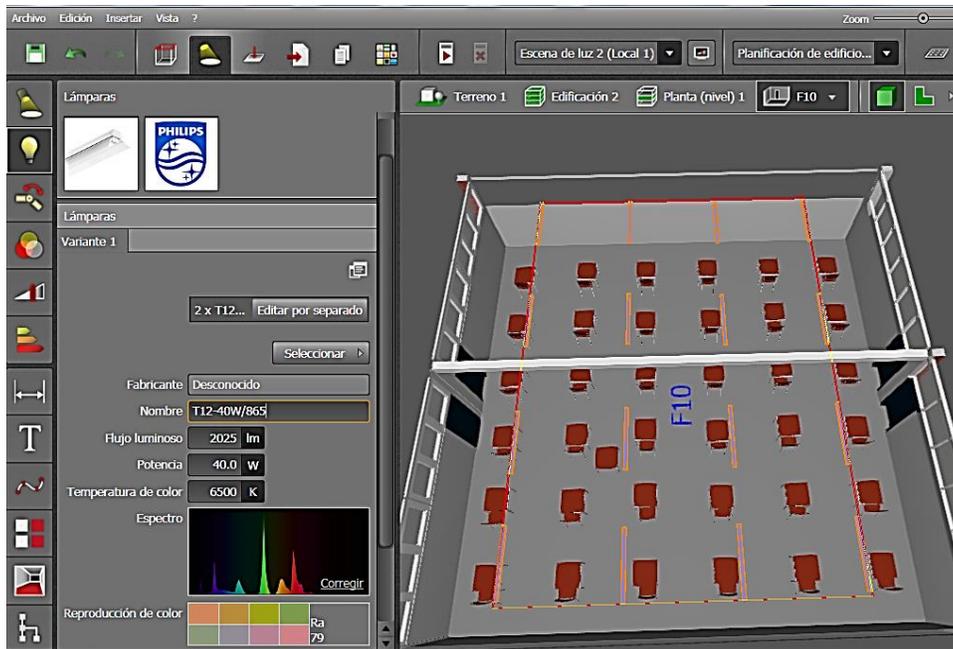


Ilustración 27: Configuración de las lámparas fluorescente de 40Watts.

Con la escena del local ya finalizada podemos proceder al cálculo. Tras el cual podremos acceder a los diferentes outputs que necesitemos y comprobar si cumple los requerimientos.

### 2.3. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestran unos ejemplos aplicando el método de análisis genérico que hemos visto anteriormente a una instalación. En este caso se han elegido algunos locales representativos de la FIA, UES.

#### 2.3.1. Laboratorio de Telemática, Escuela de Ingeniería Eléctrica

Las principales características a tomar en cuenta para el estudio de iluminación del local son las siguientes:

Local de 23.21m<sup>2</sup>.

Dimensiones: Longitud: 5.9m, Anchura: 3.9 m, Altura: 3m.

Características constructivas:

Cielo falso, Seis ventanas de 0.9m de longitud y 0.9m de altura, cada una, Dos puertas de 0.9 de anchura y 2m de altura.

El estado de las superficies del aula es:

- Falso techo: Acabado color blanco; reflectancia 70%
- Paredes: Acabado color crema; reflectancia 62%
- Suelo: Acabado color gris; reflectancia 20%
- Ventanas: Sin apantallamientos que permiten la matización de la luz natural en determinadas horas.
- Puertas: Acabado en color café claro; reflectancia 7%.
- Mobiliario: Mesas 16%.

Situación actual de la iluminación: Formado por 4 luminarias para iluminación general, de montaje empotrado, difusor acrílico, de 3 lámparas fluorescentes F032W/65k 865, con un flujo luminoso teórico inicial de 2600 lúmenes por lámpara, equipo auxiliar formado por un balasto electrónico GE-332-120V (GE Electronic Ballasts) con pérdida del 11% equivalente a 3.52W.

Calculo de la constante del local K[17].

$$K = \frac{5.9 * 3.9}{1.9 * (5.9 + 3.9)} = \frac{23.01}{18.62} = 1.24$$

De los números de puntos a medir en el Laboratorio de Telemática son 16. Resultados de los parámetros luminotécnicos del laboratorio de telemática medidos.

$$E_{\text{medio}} = 276, \quad E_{\text{minimo}} = 158$$

$$U = \frac{E_{\text{medio}}}{E_{\text{minimo}}} = \frac{158}{276} = 0.572$$

Potencia total instalada en el local (Lámpara más equipo) = 426.

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * E_{\text{medio}}} = \frac{426 * 100}{23 * 276} = \frac{42600}{6348} = 6.71\text{W/m}^2/100\text{lx}$$

Nota: El valor del deslumbramiento solamente sea obtenido con DIALux, ya que su cálculo es complicado para sistemas de más de una luminaria. Resultados de los parámetros luminotécnicos del laboratorio de telemática simulados en DIALux.

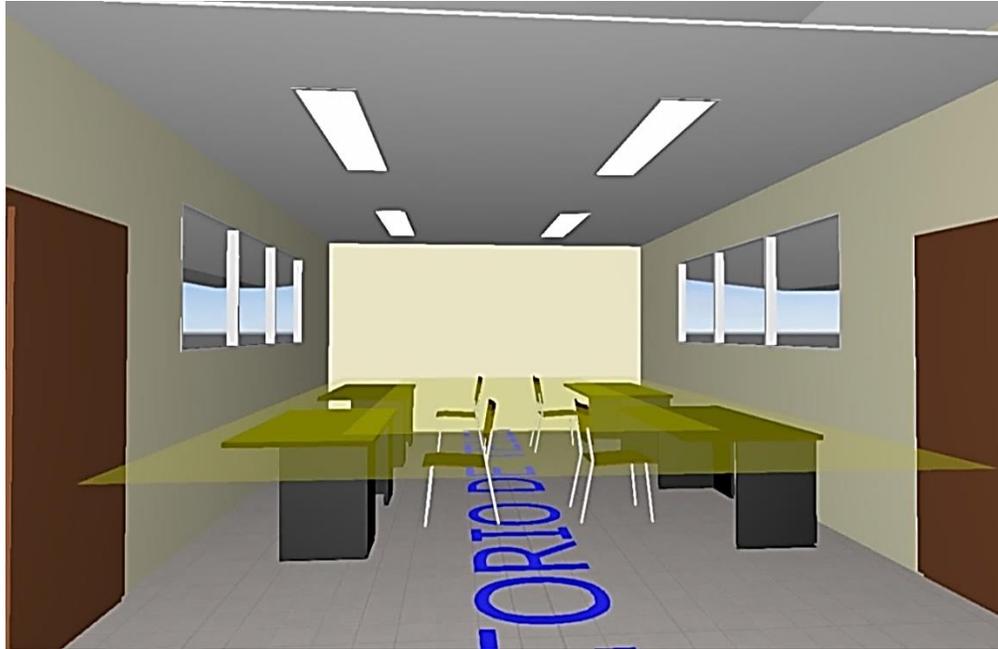
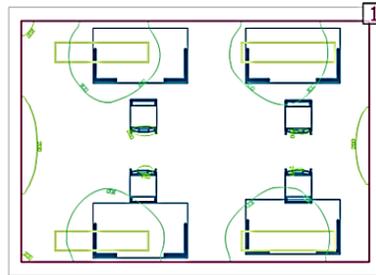


Ilustración 28: Simulación del laboratorio de telemática.

## LABORATORIO DE TELEMATICA / Sinopsis de locales



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.200 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 62.3%, Suelo 20.0%, Factor de degradación: 0.80

### Plano útil

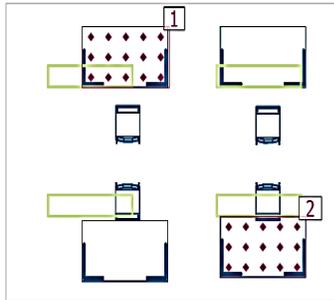
Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 TELEMATICA	Intensidad lumínica perpendicular [lx]	277 (500)	156	349	0.563	0.447

Flujo luminoso total de lámparas: 31200 lm, Flujo luminoso total de luminarias: 20144 lm, Potencia total: 428.0 W, Rendimiento lumínico: 47.1 lm/W

Potencia específica de conexión:  $18.44 \text{ W/m}^2 = 6.65 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base  $23.21 \text{ m}^2$ )

Ilustración 29: Resultados de simulación Em, U, VEE.

## LABORATORIO DE TELEMATICA / Resumen de resultados de superficies



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.200 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 62.3%, Suelo 20.0%, Factor de degradación: 0.80

### General

Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Mín./medio	Mín./máx.
1 Superficie de cálculo 20	Intensidad lumínica horizontal [lx]	285	235	331	0.825	0.710
2 Superficie de cálculo 21	Intensidad lumínica horizontal [lx]	251	196	300	0.781	0.653

### Evaluación del deslumbramiento

Superficie	Resultado	Min	Max	Valor límite
1 Superficie de cálculo 20	UGR	<10	20	19
2 Superficie de cálculo 21	UGR	<10	21	19

Ilustración 30: Resultados de simulación UGR.

Parámetro Luminotécnico	Valor Simulado	Valor Medido
Iluminancia media (Em)	277lx	276 lx
Uniformidad (U)	0.563	0.572
Valor de eficiencia Energética (VEE)	6.65W/m <sup>2</sup> /100lx	6.71/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento Plano 1	20	
Deslumbramiento Plano 2	21	

Tabla 15: resultados medidos y obtenidos en DIALux.

La iluminancia mínima para un laboratorio es de 500lx mostrado en la Tabla 11, por lo tanto esta abajo en 221lux, lo que indica según los resultados obtenidos en DIALux que las luminarias están trabajando a un 52% lo cual se observa en la Ilustración 31.

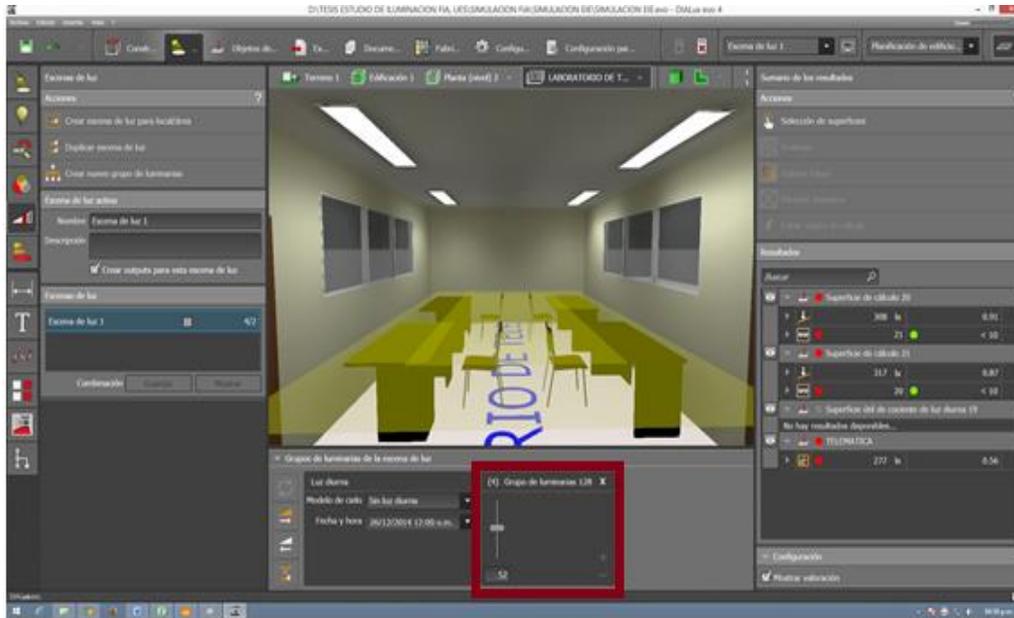


Ilustración 31: Luminarias trabajando a un 52%.

Con respecto al VEE según la Tabla 12 el límite debería de ser de 4, y el resultado obtenido en Dialux es de 6.65, lo que indica que el sistema de iluminación es ineficiente con respecto a la potencia instalada y los lúmenes aportados por las luminarias.

El deslumbramiento obtenido con DIALux es de 20 y 21 lo cual supera lo establecido en la Tabla 11. Los valores anteriores indican la mala posición de las mesas de trabajo o luminarias. La uniformidad del local es de 0.563 lo cual cumple con lo establecido en el reglamento y lo que indica la Tabla 11 de 0.5.

### 2.3.2. Laboratorio de Metalografía, Escuela de Ingeniería Mecánica

Las principales características a tomar en cuenta para el estudio de iluminación del local son las siguientes:

Local de 34.5m<sup>2</sup>.

Dimensiones:

Longitud: 6.9m, Anchura: 5.0m, Altura: 3m.

Características constructivas:

Seis ventanas de 0.9m de longitud y 0.9m de altura, cada una; Una puertas de 0.9 de anchura y 2m de altura.

El estado de las superficies del aula es:

- Techo de concreto: Acabado color blanco; reflectancia 70%
- Paredes: Acabado color blanco; reflectancia 86%
- Suelo: Acabado color gris; reflectancia 20%
- Ventanas: Sin apantallamientos que permitan la matización de la luz natural en determinadas horas.
- Puertas: Acabado en color blanco hueso; reflectancia 76%.
- Mobiliario: Mesas 16%.

Situación actual de la iluminación: Compuesto por 6 luminarias tipo industrial, montadas en superficie con dos lámparas F40T12 DX, con un flujo luminoso mantenido de 2025 lúmenes por lámpara, equipo auxiliar formado por un balasto de 40W, y una pérdida de 8W. Mal mantenimiento de las luminarias, se ven sucias con un tono amarillo, tres luminarias inservibles. Aporte insignificante de luz natural. Resultados de los parámetros luminotécnicos del Laboratorio de Metalografía simulados en DIALux.

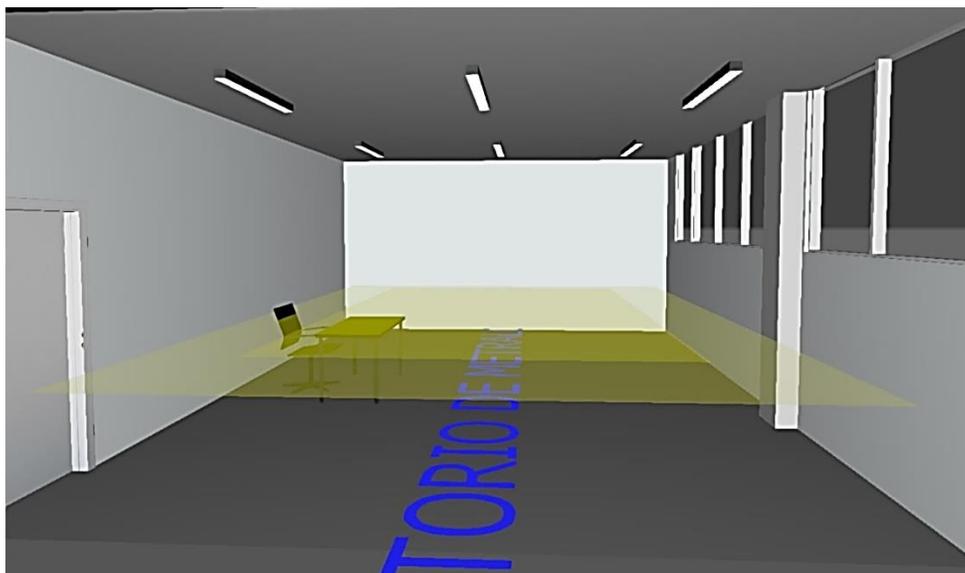
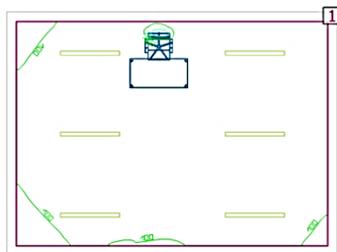


Ilustración 32: Simulación del laboratorio de Metalografía.

## LABORATORIO DE METRALOGRAFIA / Sinopsis de locales



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.200 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 84.9%, Suelo 20.0%, Factor de degradación: 0.80

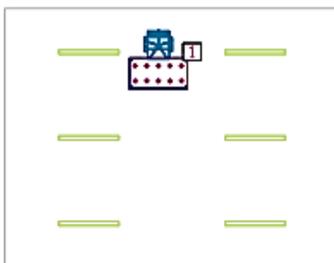
### Plano útil

Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 LAB METRALOGRAFIA	Intensidad lumínica perpendicular [lx]	135 (500)	56	182	0.415	0.308

Flujo luminoso total de lámparas: 24300 lm, Flujo luminoso total de luminarias: 18936 lm, Potencia total: 432.0 W, Rendimiento lumínico: 43.8 lm/W  
 Potencia específica de conexión: 12.33 W/m<sup>2</sup> = 9.16 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Base 35.03 m<sup>2</sup>)

Ilustración 33: Resultados de simulación Em, U, VEE.

## LABORATORIO DE METRALOGRAFIA / Resumen de resultados de superficies



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.200 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 84.9%, Suelo 20.0%, Factor de degradación: 0.80

### General

Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 Superficie de cálculo 2	Intensidad lumínica horizontal [lx]	134	129	140	0.963	0.921

### Evaluación del deslumbramiento

Superficie	Resultado	Min	Max	Valor límite
1 Superficie de cálculo 2	UGR	<10	18	19

Ilustración 34: Resultados de simulación UGR.

Número de puntos medidos en el local 16.

Parámetro Luminotécnico	Valor Simulado	Valor medido
Iluminancia media (Em)	135lx	131 lx
Uniformidad (U)	0.415	0.45
Valor de eficiencia Energética (VEE)	9.16W/m <sup>2</sup> /100lx	9.23W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento	8	

Tabla 16: resultados medidos y obtenidos en DIALux.

La iluminancia mínima para un laboratorio es de 500lx como se muestra en la Tabla 11, por lo tanto esta abajo en 365lux, lo que indica según los resultados obtenidos en DIALux que 3 luminarias están trabajando a un 23% y las demás luminarias a un 40% lo cual se observa en la Ilustración 35.

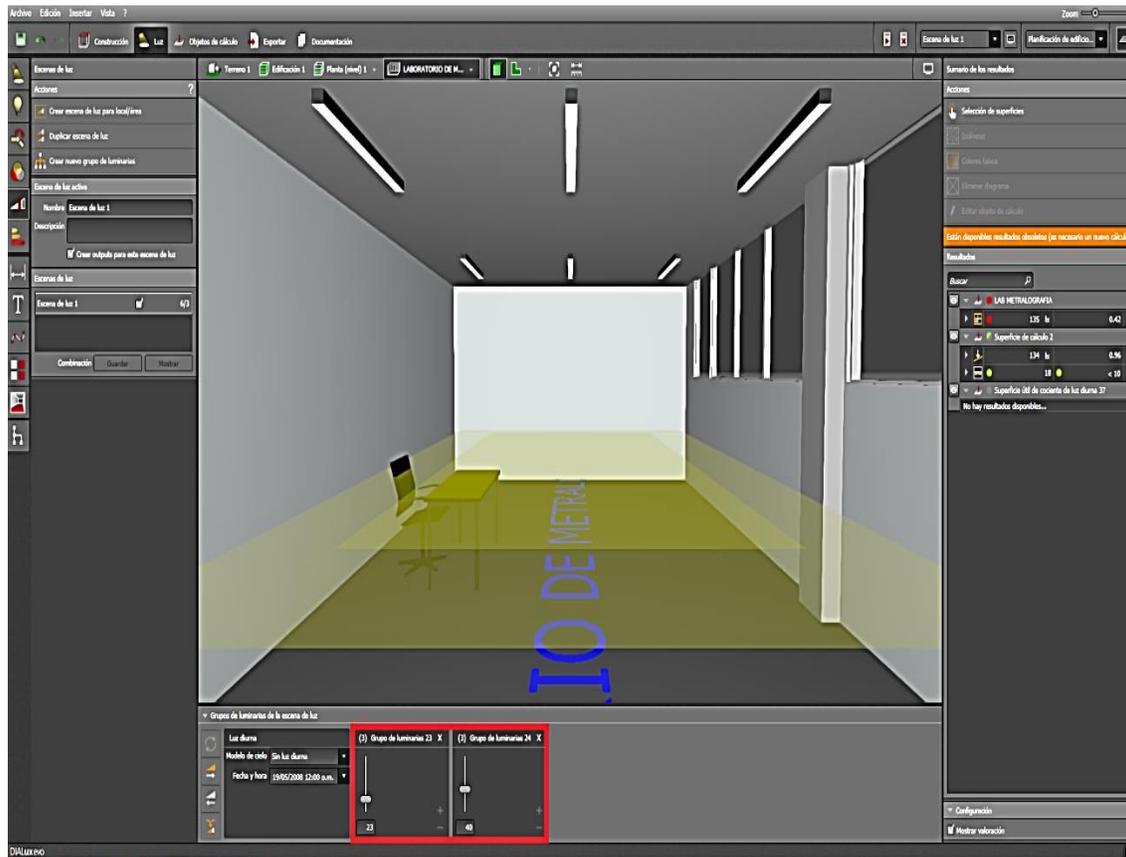


Ilustración 35: luminarias trabajando a un 52%.

Con respecto al VEE según la Tabla 12, debería de ser de 4 limite, y el resultado obtenido en Dialux es de 9.16, lo que indica que el sistema de iluminación es ineficiente con respecto a la potencia instalada y los lúmenes aportados por las luminarias.

El deslumbramiento obtenido con DIALux es de 18 lo cual está dentro de lo establecido en la Tabla 11. La uniformidad del local es de 0.415 lo cual no cumple con lo establecido en el reglamento y lo que indica la Tabla 11 de 0.5 por lo tanto las luminarias están mal distribuidas.

### 2.3.3. Cubículo del Ing. Salvador, Escuela de Ingeniería Eléctrica

Las principales características a tomar en cuenta para el estudio de iluminación del local son las siguientes:

Local de 7.21m<sup>2</sup>.

Dimensiones:

Longitud: 2.92m, Anchura: 2.47 m, Altura: 3m.

Características constructivas:

Cielo falso, Tres ventanas de 0.9m de longitud y 0.9m de altura, cada una, Una puerta de 0.9 de anchura y 2m de altura.

El estado de las superficies del aula es:

- Falso techo: Acabado color blanco; reflectancia 70%
- Paredes: Acabado color crema; reflectancia 62%
- Suelo: Acabado color gris; reflectancia 20%
- Ventanas: Sin apantallamientos que permitan la matización de la luz natural en determinadas horas.
- Puerta: Acabado en color café claro; reflectancia 7%.
- Mobiliario: Mesas 16%.

Situación actual de la iluminación: Formado por 1 luminaria para iluminación general, de montaje empotrado, difusor acrílico, de 3 lámparas fluorescentes F032W/65k 865, con un flujo luminoso teórico inicial de 2600 lúmenes por lámpara, equipo auxiliar formado por un balasto electrónico GE-332-120V (GE ElectronicBallasts).

Resultados de los parámetros luminotécnicos simulados en DIALux.



Ilustración 36: Simulación cubículo Ing. Salvador.

### OFICINA ING SALVADOR / Sinopsis de locales



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.200 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 62.0%, Suelo 20.0%, Factor de degradación: 0.80

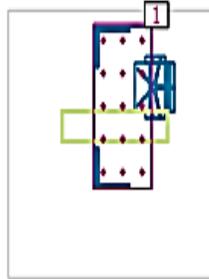
#### Plano útil

Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 OFICINA ING SALVADOR	Intensidad lumínica perpendicular [lx]	240 (500)	119	325	0.496	0.366

Flujo luminoso total de lámparas: 7800 lm, Flujo luminoso total de luminarias: 5036 lm, Potencia total: 107.0 W, Rendimiento lumínico: 47.1 lm/W  
 Potencia específica de conexión:  $14.83 \text{ W/m}^2 = 6.18 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base  $7.21 \text{ m}^2$ )

Ilustración 37: Resultados de simulación Em, U, VEE.

## OFICINA ING SALVADOR / Resumen de resultados de superficies



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.200 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 62.0%, Suelo 20.0%, Factor de degradación: 0.80

### General

Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Mín./medio	Mín./máx.
1 Superficie de cálculo 22	Intensidad lumínica horizontal [lx]	287	245	313	0.854	0.783

### Evaluación del deslumbramiento

Superficie	Resultado	Min	Max	Valor límite
1 Superficie de cálculo 22	UGR	<10	22	19

Ilustración 38: Resultados de simulación UGR.

El número de puntos medidos en el local son 9.

Parámetro Luminotécnico	Valor Simulado	Valor medido
Iluminancia media (Em)	240lx	242lx
Uniformidad (U)	0.496	0.42
Valor de eficiencia Energética (VEE)	6.18W/m <sup>2</sup> /100lx	6.15 W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento Plano	22	

Tabla 17: resultados medidos y obtenidos en DIALux.

La iluminancia media para una oficina es de 500lx según la Tabla 11, lo que indica según los resultados obtenidos en DIALux que la luminaria está trabajando a un 56% lo cual se observa en la Ilustración 39.

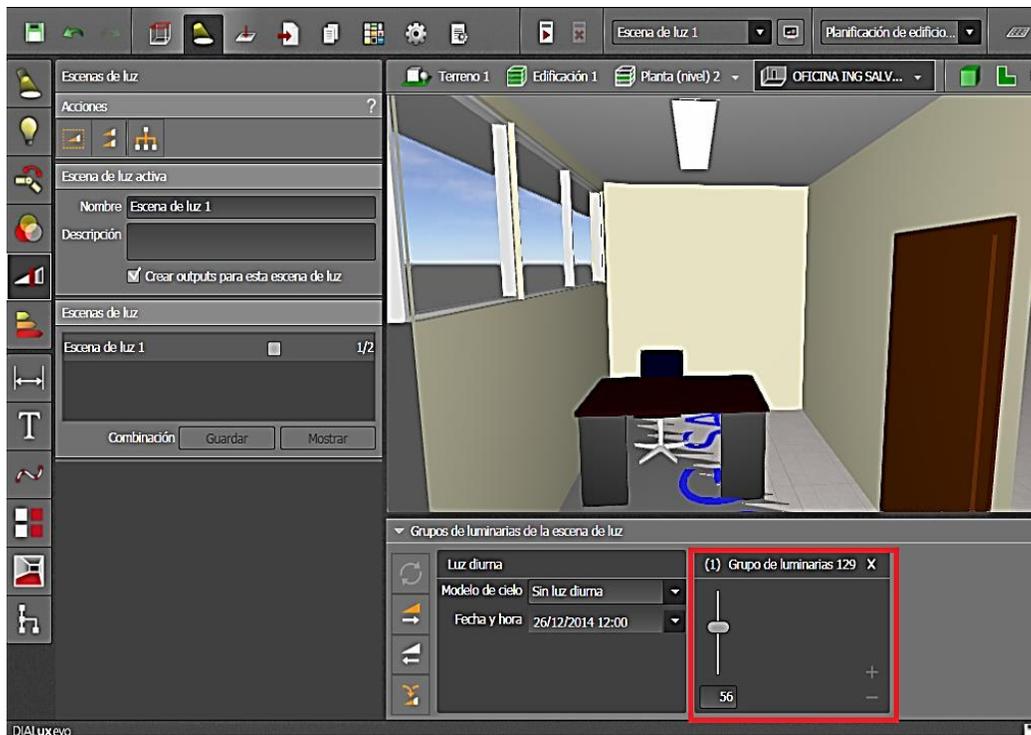


Ilustración 39: Luminaria trabajando a un 56%.

Con respecto al VEE según la Tabla 12, debería de ser de 4 limite, y el resultado obtenido en DIALux es de 6.18, lo que indica que el sistema de iluminación es ineficiente con respecto a la potencia instalada y los lúmenes aportados por las luminarias.

El deslumbramiento obtenido con DIALux es de 22 lo cual sobre pasa de lo establecido en la Tabla 11, lo cual indica un mal posicionamiento del escritorio o luminaria.

La uniformidad del local es de 0.496 lo cual no cumple con lo establecido en el reglamento y lo que indica la Tabla 11 de 0.5 por lo tanto la luminaria está mal posicionada.

#### 2.3.4. Laboratorio 2, Centro de Estudios Meteorológicos

Las principales características a tomar en cuenta para el estudio de iluminación del local son las siguientes:

Local de 18.24m<sup>2</sup>.

Dimensiones: Longitud: 4.81m, Anchura: 3.79m, Altura: 3m.

Características constructivas:

Cielo falso, Una puerta de 0.9 de anchura y 2m de altura.

El estado de las superficies del aula es:

- Falso techo: Acabado color blanco; reflectancia 70%
- Paredes: Acabado color crema; reflectancia 64%
- Suelo: Acabado color gris; reflectancia 20%
- Ventanas: Sin apantallamientos que permiten la matización de la luz natural en determinadas horas.
- Puerta: Acabado en color café claro; reflectancia 7%.
- Mobiliario: Mesas 16%.

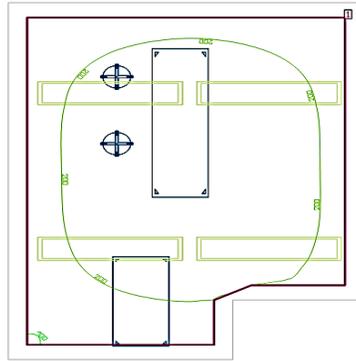
Situación actual de la iluminación: Formado por 4 luminarias para iluminación general, de montaje empotrado, difusor acrílico, de 3 lámparas fluorescentes F032W/65k 865, con un flujo luminoso teórico inicial de 2600 lúmenes por lámpara, equipo auxiliar formado por un balasto electrónico GE-332-120V (GE Electronic Ballasts).

Resultados de los parámetros luminotécnicos simulados en DIALux:



Ilustración 40: Simulación Laboratorio 2.

Laboratorio 2 / Sinopsis de locales



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.200 m  
 Grado de reflexión: Techo 59.0%, Paredes 64.1%, Suelo 5.8%, Factor de degradación: 0.40

Plano útil

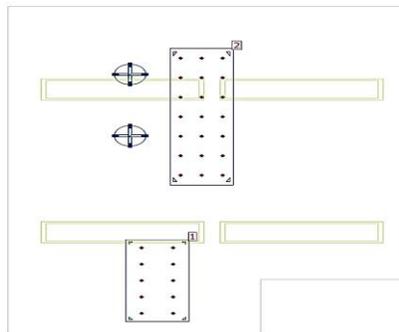
Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 plano útil 2	Intensidad lumínica perpendicular [lx]	212 (500)	97	271	0.458	0.358

N°	Número de unidades			
1	4	Philips Lighting TBS473 3xTL5-32W HFP PC-MLO Grado de eficacia de funcionamiento: 64.57% Flujo luminoso de lámparas: 7800 lm Flujo luminoso de las luminarias: 5036 lm Potencia: 107.0 W Rendimiento lumínico: 47.1 lm/W		

Flujo luminoso total de lámparas: 31200 lm, Flujo luminoso total de luminarias: 20144 lm, Potencia total: 428.0 W, Rendimiento lumínico: 47.1 lm/W  
 Potencia específica de conexión: 23.46 W/m² = 11.05 W/m²/100 lx (Base 18.24 m²)

Ilustración 41: Resultados de simulación Em, U, VEE.

Laboratorio 2 / Resumen de resultados de superficies



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.200 m  
 Grado de reflexión: Techo 59.0%, Paredes 64.1%, Suelo 5.8%, Factor de degradación: 0.40

General

Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 Superficie de cálculo 10	Intensidad lumínica horizontal [lx]	186	137	234	0.737	0.585
2 Superficie de cálculo 12	Intensidad lumínica horizontal [lx]	255	222	268	0.871	0.828

Evaluación del deslumbramiento

Superficie	Resultado	Min	Max	Valor límite
1 Superficie de cálculo 10	UGR	<10	16	19
2 Superficie de cálculo 12	UGR	<10	16	19

Ilustración 42: Resultados de simulación UGR.

Número de puntos medidos en el local 9.

Parámetro Luminotécnico	Valor Simulado	Valor Medido
Iluminancia media (Em)	212lx	200lx
Uniformidad (U)	0.46	0.8
Valor de eficiencia Energética (VEE)	11.05W/m <sup>2</sup> /100lx	10.92W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento Plano	16	

Tabla 18: resultados medidos y obtenidos en DIALux.

La iluminancia media para una oficina es de 500lx, por lo tanto esta abajo en 288lux, lo que indica según los resultados obtenidos en DIALux que la luminaria está trabajando a un 52% lo cual se observa en la Ilustración 43.

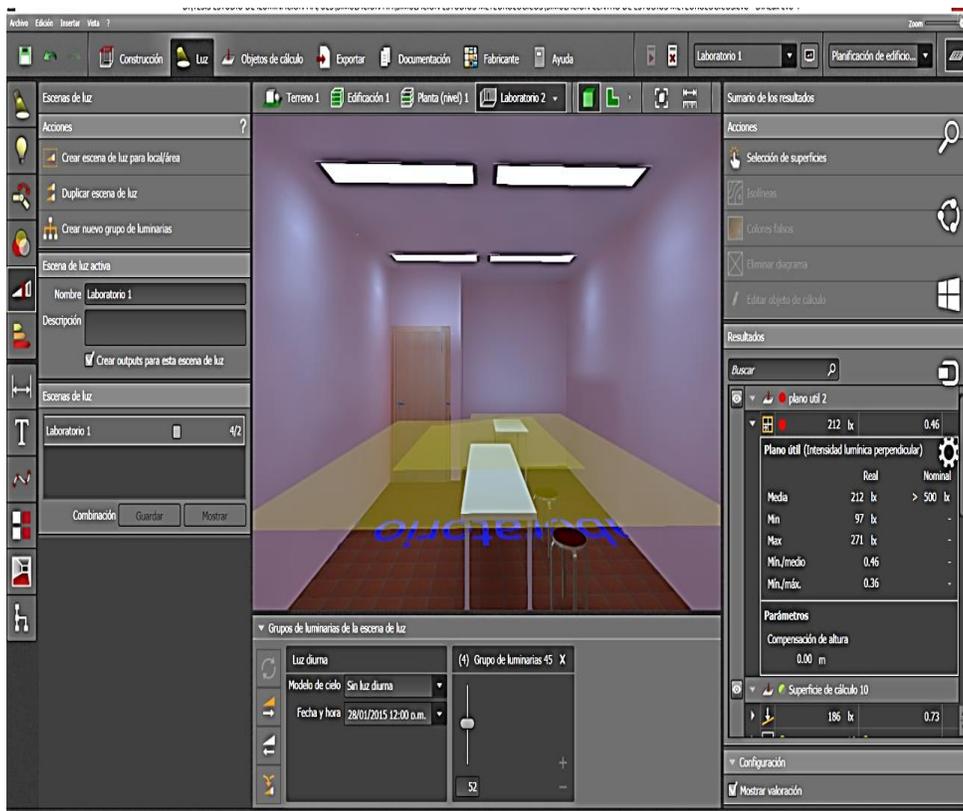


Ilustración 43: luminaria trabajando a un 52%.

Si las luminarias se hacen trabajar al 100%, el Em es de 428 Ilustración 44, por lo tanto habría que aumentar el número de luminarias y hacer una nueva distribución de estas, para obtener los 500lux mínimos y uniformidad requerida.

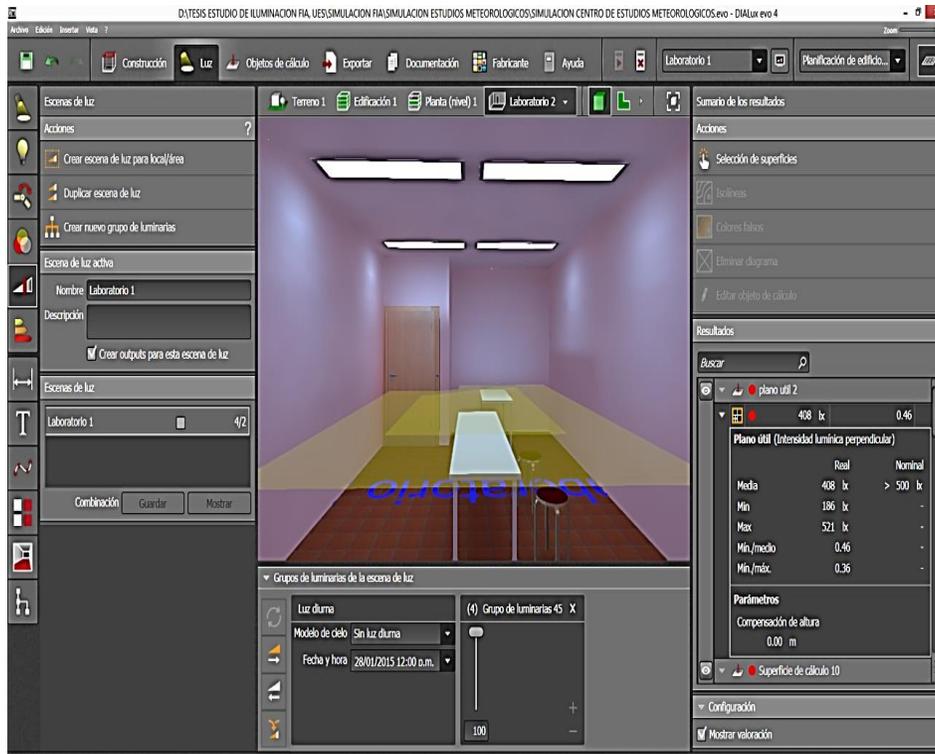


Ilustración 44: luminaria trabajando a un 100%.

El VEE según la Tabla 12, debería de ser de un límite de 4, y el resultado obtenido en DIALux es de 11.05, lo que indica que el sistema de iluminación es ineficiente con respecto a la potencia instalada y los lúmenes aportados por las luminarias.

El deslumbramiento obtenido con DIALux es de 16 lo cual cumple con lo establecido en la Tabla 11. La uniformidad del local es de 0.46 lo cual no cumple con lo establecido en el reglamento y lo que indica la Tabla 11 de 0.5 por lo tanto la luminaria está mal distribuidas.

### 2.3.5. Salón de Clases D-43

Descripción de un aula de clases ubicada en el local “D-43” (Ambiente nocturno), en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Local de 73.5m<sup>2</sup>.

Dimensiones:

Longitud: 10.5m, Anchura: 7m, Altura: 3.6m.

Características constructivas:

Cielo falso, Seis ventanas de 0.9m de longitud y 2.5m de altura, cada una, Dos puertas de 1 de ancho y 2.1m de altura.

El estado de las superficies del aula es:

- Falso techo: Acabado color blanco; reflectancia 70%.
- Paredes: Acabado color beige; reflectancia 42%.
- Suelo: Acabado color gris; reflectancia 60%.
- Puertas: Acabado en color café claro; reflectancia 48%.
- Mobiliario: Mesas 8%.

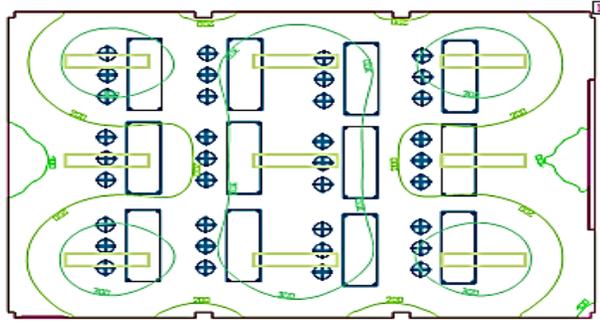
Situación actual de la iluminación: Formado por 9 luminaria para iluminación general, de montaje empotrado, difusor acrílico, de 3 lámparas fluorescentes F032W/65k 865, con un flujo luminoso teórico inicial de 2600 lúmenes por lámpara, equipo auxiliar formado por un balasto electrónico GE-332-120V (GE Electronic Ballasts).

Resultados de los parámetros luminotécnicos del aula D-43 simulados en DIALux.



Ilustración 45. Aula D-43

## D43 / Sinopsis de locales



Altura del local: 2.800 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.2%. Paredes 42.0%. Suelo 60.0%. Factor de degradación: 0.80

### Plano útil

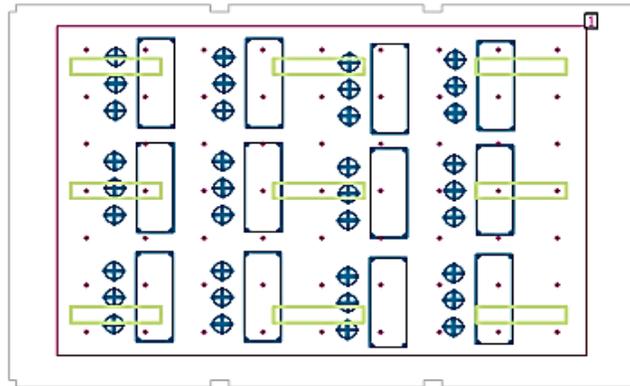
Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 Plano útil 3	Intensidad luminica perpendicular [lx]	264 (500)	77	458	0.292	0.168

Flujo luminoso total de lámparas: 70200 lm, Flujo luminoso total de luminarias: 45324 lm, Potencia total: 963.0 W, Rendimiento luminoso: 47.1 lm/W

Potencia específica de conexión: 13.57 W/m<sup>2</sup> = 5.15 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Base 70.95 m<sup>2</sup>)

Ilustración 46. Resultados de simulación Em, U, VEE.

## D43 / Resumen de resultados de superficies



Altura del local: 2.800 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.2%, Paredes 42.0%, Suelo 60.0%, Factor de degradación: 0.80

### General

Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 Superficie de cálculo 1	Intensidad lumínica horizontal [lx]	295	119	457	0.403	0.260

### Evaluación del deslumbramiento

Superficie	Resultado	Min	Max	Valor límite
1 Superficie de cálculo 1	UGR	<10	24	19

Ilustración 47. Resultados de simulación UGR.

Número de puntos medidos en el local 16.

Parámetro Luminotécnico	Valor Simulado	Valor Medido
Iluminancia media (Em)	264 lx	260 lx
Uniformidad (U)	0.292	0.3
Valor de eficiencia Energética (VEE)	5.15W/m <sup>2</sup> /100lx	5.34W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento	24	

Tabla 19. Resultados obtenidos en DIALux.

De la tabla de resumen de parámetros luminotécnicos se puede observar que el nivel óptimo de iluminancia para un aula de clases es de 500lx. Mediante la simulación se puede verificar que 7 de las 9 luminarias existentes en el local están trabajando a un 66% de su capacidad (Ilustración 48). Mientras que por medio de la observación se confirma que las dos luminarias restantes están completamente dañadas. Lo anteriormente mencionado se debe al poco o nulo mantenimiento que se efectúa en el aula de clases, lo que conlleva al deterioro de cielo falso, lámparas y difusores. La uniformidad del salón de clases se encuentra debajo del límite permisible que se muestra en la Tabla 11. Por otro lado se posee un nivel de deslumbramiento bastante elevado superando los límites admisibles para un confort en el desarrollo de la tarea (Los resultados se muestran en la Tabla 19 para una mejor apreciación). El VEEI también resultó con valores elevados lo cual convierte al salón de clases en un recinto no eficiente.

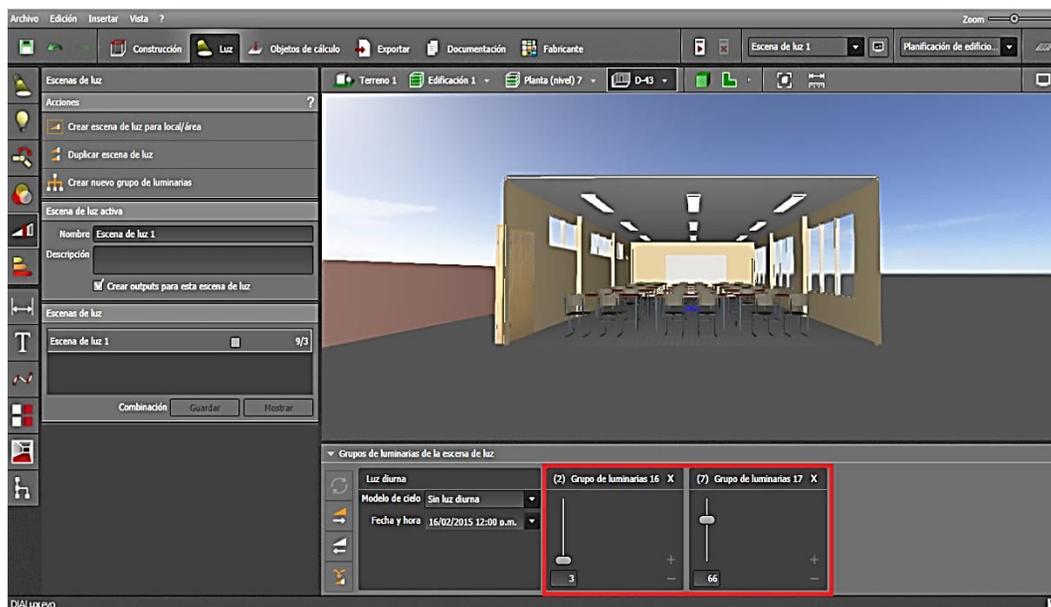


Ilustración 48. Dos luminarias trabajando a 3% y 7 luminarias a 66% de su capacidad.

### 2.3.6. Almacén Ubicado en UCB

Las principales características a tomar en cuenta para el estudio de iluminación en el almacén son las siguientes:

Dimensiones:

Longitud: 11 m, Anchura: 9.5 m, Altura: 2.6 m.

Características constructivas:

Cielo falso, Seis ventanas de 2 m de longitud y 0.6 m de altura, cada una, Una puerta principal de 2 m de alto y 1.6 de ancho. Una puerta a pasillo de 2 m de alto y 1.2 m de ancho.

El estado de las superficies del aula es:

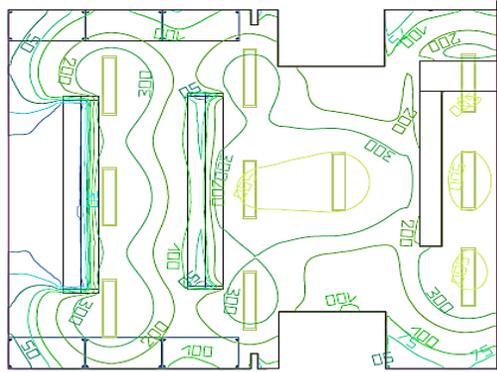
- Falso techo: Acabado color blanco; reflectancia 70%.
- Paredes: Acabado color amarillo arena; reflectancia 47%.
- Suelo: Acabado color gris; reflectancia 55%.
- Puertas: Acabado en color negro; reflectancia 3%.
- Mobiliario: Mesas 11%, Estantes 14%.

Situación actual de la iluminación: Formado por 10 luminarias para iluminación general, de montaje empotrado, difusor acrílico, de 3 lámparas fluorescentes F032W/65k 865, con un flujo luminoso teórico inicial de 2600 lúmenes por lámpara, equipo auxiliar formado por un balasto electrónico GE-332-120V (GE ElectronicBallasts).



Ilustración 49. Almacén ubicado en UCB.

## Área Almacén / Sinopsis de locales



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 42.1%, Suelo 55.0%, Factor de degradación: 0.80

### Plano útil

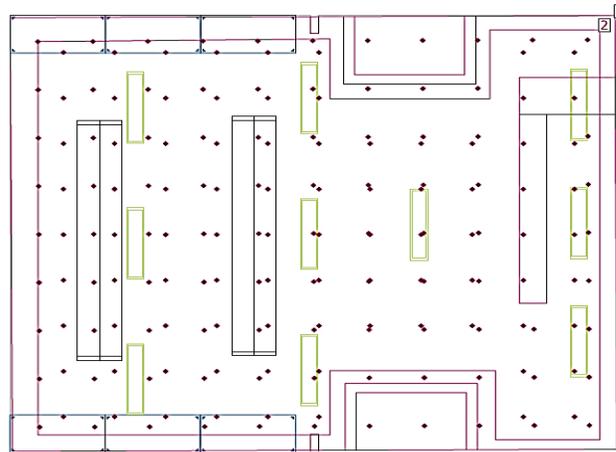
Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Mín./medio	Mín./máx.
1 Plano útil 15	Intensidad lumínica perpendicular [lx]	240 (500)	13	642	0.054	0.020

Flujo luminoso total de lámparas: 79500 lm, Flujo luminoso total de luminarias: 51329 lm, Potencia total: 1070.0 W, Rendimiento lumínico: 48.0 lm/W

Potencia específica de conexión: 11.03 W/m<sup>2</sup> = 4.60 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Base 97.00 m<sup>2</sup>)

Ilustración 50. Resultados de simulación Em, U, VEE.

## Almacén / Resumen de resultados de superficies



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m

### General

Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Mín./medio	Mín./máx.
1 Superficie de cálculo 4	Intensidad lumínica horizontal [lx]	179	0.00	436	0.000	0.000
2 Superficie de cálculo 8	Intensidad lumínica horizontal [lx]	331	17	1469	0.051	0.012

### Evaluación del deslumbramiento

Superficie	Resultado	Min	Max	Valor límite
1 Superficie de cálculo 4	UGR	<10	19	19
2 Superficie de cálculo 8	UGR	<10	<10	19

Ilustración 51. Resultados de simulación UGR.

Número de puntos medidos en el local 16.

Parámetro Luminotécnico	Valor Simulado	Valor Medido
Iluminancia media (Em)	240 lx	243 lx
Uniformidad (U)	0.054	0.041
Valor de eficiencia Energética (VEEI)	4.6W/m <sup>2</sup> /100lx	5.12W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento 1		19
Deslumbramiento 2		10

Tabla 20.Resultados obtenidos en DIALux.

Mediante la inspección realizada al local, previo a la toma de mediciones se pudo apreciar la deficiencia lumínica que el local posee; lo cual se constató posteriormente con la toma de mediciones en el recinto al obtener una iluminancia promedio de 243 lux. Las posibles causas que conllevan a este déficit podrían ser: ventanas demasiadas estrechas para que la luz natural penetre en el recinto, la mayoría de las ventanas están sucias o poseen cortinas lo (cual obstaculiza el paso de los rayos de luz), dos de las 10 luminarias están dañadas y poseen al menos dos lámparas a las cuales su vida útil se les ha terminado, los estantes que se utilizan en el recinto están en posiciones que obstaculizan el flujo luminoso de la luminaria provocando sombra.

Observando los resultados de la simulación se concluye que ocho de las luminarias se encuentran funcionando al 68% de su capacidad nominal mientras que las dos restantes lo hacen al 45% de su capacidad; como se puede apreciar en la Ilustración 52.

El nivel de uniformidad obtenido mediante la simulación es de 0.054 mientras que el valor obtenido mediante las mediciones previamente realizadas fue de 0.049. Estos niveles bajos de uniformidad son resultado de la mala distribución de los estantes utilizados en el recinto los cuales obstaculizan los niveles de iluminancia emitidos por las luminarias.

El deslumbramiento (UGR) fue calculado a dos niveles distintos a los cuales los trabajadores realizan sus labores: a la altura los ojos de un trabajador promedio (1.7 m) denotado por la trayectoria 2 como se muestra en el plano de deslumbramiento de la Ilustración 51 y a la altura del plano de trabajo que por convención se ha adoptado 0.8 m.

El UGR promedio obtenido en la trayectoria 2 se encuentra justamente en el valor límite indicado por la tabla resumen Tabla 11. Mientras que el UGR obtenido en la trayectoria 1 está muy por debajo de los valores permisibles, lo cual es aceptable.

En teoría se puede afirmar que el VEEI se encuentra por debajo del límite establecido en la tabla de resumen Tabla 12. Lo que podemos decir que si todas las luminarias del local estuvieran en perfectas condiciones, sería un local eficiente.

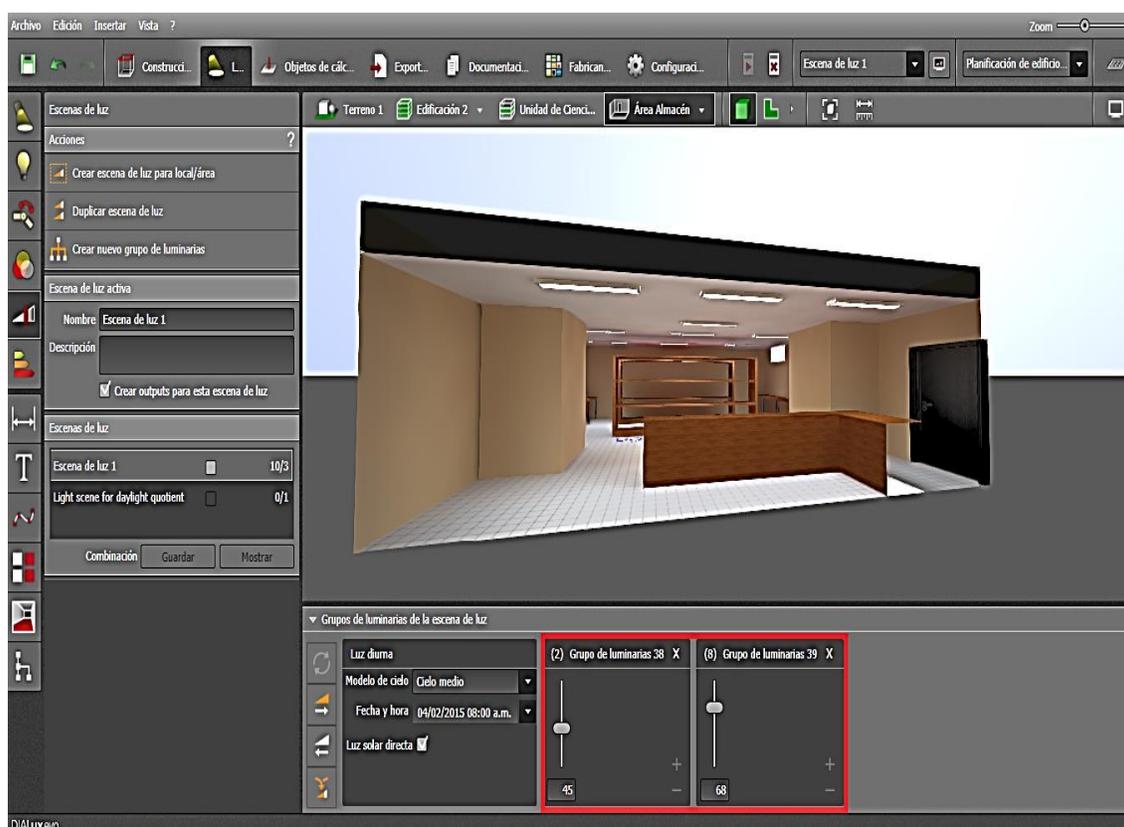


Ilustración 52. Dos luminarias trabajando a 45% y 8 al 66% de su capacidad.

### 2.3.7. Cubículos Ingeniería En Sistemas

Descripción de sector que alberga un grupo de cubículos, en Escuela de Ingeniería en Sistemas Informáticos:

Local de 86.14 m<sup>2</sup>.

Dimensiones:

Longitud: 11.8m, Anchura: 7.3 m, Altura: 3m.

Características constructivas:

El local posee cuatro ventanas en total: dos ventanas de 1.5m de longitud y 1.35m de alto. Mientras que las otras dos poseen dimensiones de 1 m de longitud y 1.35m de altura, Dos puertas de 1.8 de anchura y 2m de altura.

El estado de las superficies del aula es:

- Falso techo: Acabado color blanco; reflectancia 70%.
- Paredes: Acabado color marfil; reflectancia 75%.
- Suelo: Acabado color gris; reflectancia 49%.
- Puertas: Acabado en color gris beige; reflectancia 17%.
- Mobiliario: Escritorios 11%, estantes 26%.

Situación actual de la iluminación: Formado por 12 luminaria para iluminación general, de montaje empotrado, difusor acrílico, de 3 lámparas fluorescentes F032W/65k 865, con un flujo luminoso teórico inicial de 2600 lúmenes por lámpara, equipo auxiliar formado por un balasto electrónico GE-332-120V (GE ElectronicBallasts).

Resultados de los parámetros luminotécnicos del almacén obtenidos mediante simulación en DIALux:



Ilustración 53. Cubículos de Ingeniería en Sistemas Informáticos.

### SECTOR 3 / Sinopsis de locales



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 52.1%, Suelo 49.0%, Factor de degradación: 0.80  
**Plano útil**

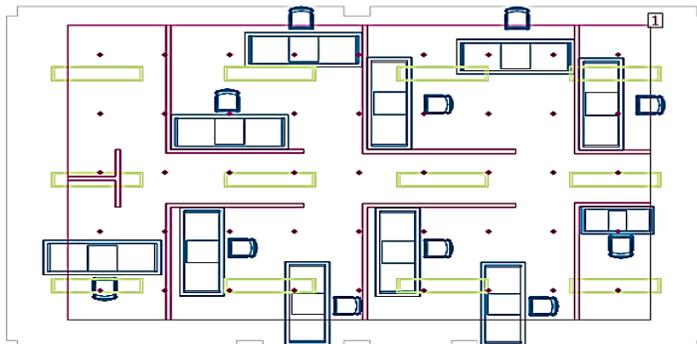
Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 Plano útil 10	Intensidad lumínica perpendicular [lx]	357 (500)	73	919	0.204	0.079

Flujo luminoso total de lámparas: 93600 lm, Flujo luminoso total de luminarias: 60432 lm, Potencia total: 1284.0 W, Rendimiento lumínico: 47.1 lm/W

Potencia específica de conexión: 15.16 W/m<sup>2</sup> = 4.24 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Base 84.71 m<sup>2</sup>)

Ilustración 54. Resultados de simulación Em, U, VEE.

### SECTOR 3 / Resumen de resultados de superficies



Altura del local: 3.000 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m  
 Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 52.1%, Suelo 49.0%, Factor de degradación: 0.80  
**General**

Superficie	Resultado	Media (nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 Superficie de cálculo 32	Intensidad lumínica horizontal [lx]	382	88	604	0.230	0.146

#### Evaluación del deslumbramiento

Superficie	Resultado	Min	Max	Valor límite
1 Superficie de cálculo 32	UGR	<10	22	19

Ilustración 55. Resultados de simulación UGR.

Número de puntos medidos en el local 16.

Parámetro Luminotécnico	Valor Simulado	Valor Medido
Iluminancia media (Em)	357lx	163lx
Uniformidad (U)	0.2	0.23
Valor de eficiencia Energética (VEEI)	4.24W/m <sup>2</sup> /100lx	4.97W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento Plano 1		22

Tabla 21. Resultados obtenidos en DIALux.

El nivel óptimo en el que las oficinas o cubículos deberían de funcionar según la tabla resumen es de 500 lx. El recinto en estudio posee niveles de iluminancia media de 357 lx, lo cual indica un nivel bajo para las labores a realizar en dicho lugar. Los niveles de intensidad lumínica que las luminarias aportan al recinto se pueden apreciar en la Ilustración 56.

El valor de VEEI se encuentra elevado tomando como referencia la Tabla 12. Tomando como base lo anterior podemos afirmar que el local cuenta con una distribución ineficiente energéticamente hablando.

Al igual ocurre con el tema del deslumbramiento, el cual basándonos en los datos obtenidos en la simulación (ver resumen en Tabla 21), se encuentra elevado causando posibles molestias en las personas que laboran en el local.

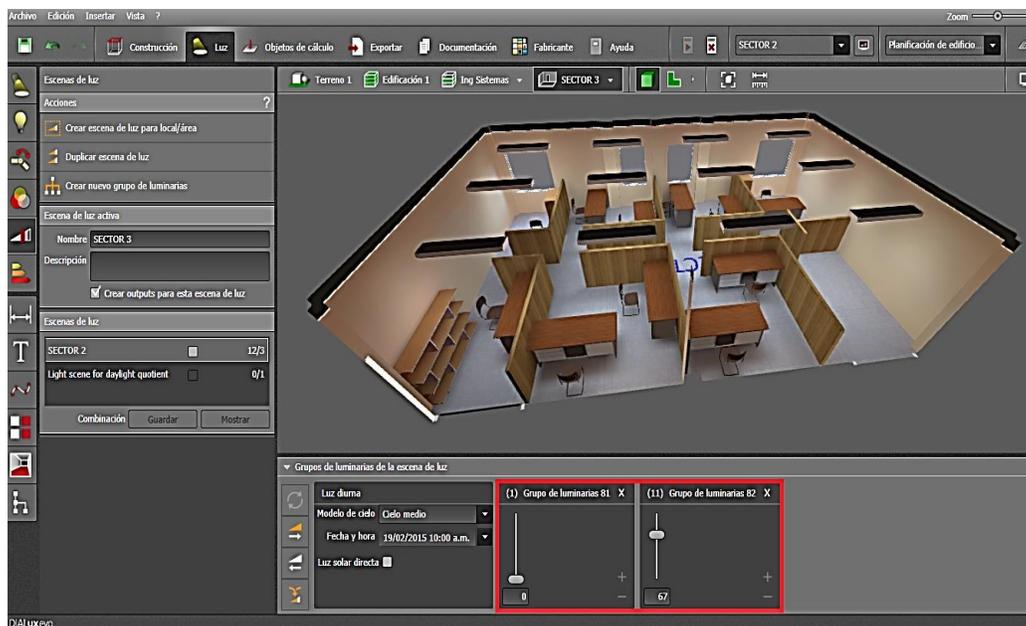


Ilustración 56. 11 luminarias trabajando a 67% y 1 al 0% de su capacidad.

2.3.8. Tabla Resumen del Nivel de Iluminación en la FIA, UES.

EDIFICIOS	LOCALES	ILUMINANCIA PROMEDIO [LUX]	RANGO PERMITIDO [LUX]	¿CUMPLE?
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA	Cubículo del Ing. Chévez	450	350 - 500	Si
	Cubículo ing. Cortez	259	350 - 500	No
	Cubículo Ing. Zetino	496	350 - 500	Si
	Cubículo Ing. Marvin	262	350 - 500	No
	Cubículo Ing. Willber	268	350 - 500	
	Cubículo Ing. Salvador	230	350 - 500	No
	Secretaria de EIE	355	350 - 500	Si
	Sala de juntas uno	398	350 - 500	Si
	Sala de juntas dos	442	350 - 500	Si
	Laboratorio 1	629	500 - 700	Si
	Laboratorio 2	580	500 - 700	Si
	Laboratorio 3	594	500 - 700	Si
	Laboratorio de Antenas	879	500 - 700	Si
	Laboratorio de Control	656	350 - 500	Si
	Laboratorio de Telemática	276	350 - 500	No
	Sala de consulta	384	350 - 500	Si
	Laboratorio de fotovoltaicos1	491	350 - 500	Si
	Laboratorio de fotovoltaico 2	355	350 - 500	Si
	Laboratorio de fotovoltaico 3	537	350 - 500	Si
	Laboratorio de conversión	748	500 - 700	Si
Laboratorio de motores	767	500 - 700	Si	
Sala de lectura	459	350 - 500	Si	
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	Laboratorio de Fluidos	870	500 - 700	Si
	Lab. de Procesos de Fabricación	341	350 - 500	No
	Oficina junto a bodega	353	350 - 500	Si
	Aula K 11	813	500 - 700	Si
	Laboratorio de Metalografía	131	350 - 500	No
	Lab. Destructivo de Materiales	206	350 - 500	No
	Sala de Reuniones	412	350 - 500	Si
	Secretaria	239	350 - 500	No
	Oficina del Director	343	350 - 500	No
	Cubículo 8	269	350 - 500	No
	Cubículo 12	172	350 - 500	No
	Cubículo K26	430	350 - 500	Si
	Cubículo 11 y 13	284	350 - 500	No
	Cubículo 15-17	487	350 - 500	Si
Cubículos Ingeniería en	550	350 - 500	Si	

EDIFICIOS	LOCALES	ILUMINANCIA PROMEDIO [LUX]	RANGO PERMITIDO [LUX]	¿CUMPLE?
	Alimentos			
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	Área de Maquinas Universales	200	100 - 300	Si
	Laboratorio de Materiales	355	350 - 500	Si
	Laboratorio de Suelos	420	350 - 500	Si
	Área de Postgrado	417	350 - 500	Si
	Secretaria	358	350 - 500	Si
	Oficina del director	353	350 - 500	Si
	Oficina de docentes 1	520	350 - 500	Si
	Oficina de docentes 2	600	350 - 500	Si
	Oficina de docentes 3	466	350 - 500	Si
	Sala de Consultas	400	350 - 500	Si
	Oficina de docentes 4	543	350 - 500	Si
Oficina de docentes 5	532	350 - 500	Si	
CENTRO DE ESTUDIOS METEOROLOGICOS	Área Administrativa	160	350 - 500	No
	Área Controlada Uno	295	350 - 500	No
	Área Controlada Dos	200	350 - 500	No
EDIFICIO DE ARQUITECTURA F	F 10	355	350 - 500	Si
	F1213	350	350 - 500	Si
INGENIERIA EN ALIMENTOS	Laboratorio Uno	619	350 - 500	Si
	Laboratorio Dos	483	350 - 500	Si
EDIFICIO B	B 11	401	350 - 500	Si
	B 21	441	350 - 500	Si
	B 22	411	350 - 500	Si
	B 31	350	350 - 500	Si
	B 32	517	350 - 500	Si
	B 41	666	350 - 500	Si
	B 42	542	350 - 500	Si
	B 43	470	350 - 500	Si
	B 44	505	350 - 500	Si
EDIFICIO C	C 11	380	350 - 500	Si
	C 21	520	500 - 700	Si
	C 22	720	500 - 700	Si
	C 31	402	350 - 500	Si
	C 32	911	500 - 700	Si
	C 41	402	350 - 500	Si
	C 42	711	500 - 700	Si

EDIFICIOS	LOCALES	ILUMINANCIA PROMEDIO [LUX]	RANGO PERMITIDO [LUX]	¿CUMPLE?
	C 43	1000	500 - 700	Si
	C 44	1500	500 - 700	Si
EDIFICIO D	D 11	370	350 - 500	Si
	D 31	887	500 - 700	Si
	D 32	520	500 -700	Si
	D 33	834	500 -700	Si
	D 41	1200	500 -700	Si
	D 42	520	500 -700	Si
	D 43	260	500 -700	No
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	Cubículo Tercera Planta	380	350 - 500	Si
	Temario	350	350 - 500	Si
	Secretaria	470	350 - 500	Si
	Sala de Reuniones	446	350 - 500	Si
	Consejería	390	350 - 500	Si
	Sala de Reuniones	701	350 - 500	Si
	Laboratorio de Técnica Industrial	373	350 - 500	Si
ESCUELA DE INGENIERIA EN SISTEMA	Cubículos Contiguo a Secretaria	416	350 - 500	Si
	Oficina del Director	412	350 - 500	Si
	Lab. COM 1	474	350 - 500	Si
	Lab. COM 2	434	350 - 500	Si
	Lab. COM 3	400	350 - 500	Si
	Sala de Capacitaciones	381	350 - 500	Si
	Sala de Reuniones	410	350 - 500	Si
	Secretaria	424	350 - 500	Si
	Sector 1	436	350 - 500	Si
	Sector 2	477	350 - 500	Si
	Sector 3	330	350 - 500	No
	Sector 4	370	350 - 500	Si
UNIDAD DE CIENCIAS BASICAS	Cubículos UCB	404	350 - 500	Si
	Laboratorio F1	435	350 - 500	Si
	Laboratorio F2	500	350 - 500	Si
	Oficina del Director	368	350 - 500	Si
	Oficina 2	355	350 - 500	Si
	Secretaria	366	350 - 500	Si
ADMINISTRACION ACADEMICA	Oficina de Consultas Generales	529	350 - 500	Si
	Sala de Papelería de Impresiones	444	350 - 500	Si
	Colecturía	458	350 - 500	Si
	Atención Estudiantil	420	350 - 500	Si
	Infocentro 1	459	350 - 500	Si

EDIFICIOS	LOCALES	ILUMINANCIA PROMEDIO [LUX]	RANGO PERMITIDO [LUX]	¿CUMPLE?
	Infocentro 2	500	350 - 500	Si
	Infocentro 3	528	350 - 500	Si
	Área de Administración Académica	466	350 - 500	Si
	Consejería 22	515	350 - 500	Si
	Jefatura de Postgrado	659	350 - 500	Si
	Bodega 20	550	350 - 500	Si
	Administración Financiera	507	350 - 500	Si
	Unidad de Investigación	451	350 - 500	Si
	Dirección de Postgrado	387	350 - 500	Si
	Secretaria Postgrado	363	350 - 500	Si
	Jefatura Diplomados	502	350 - 500	Si
	Informática Académica	424	350 - 500	Si
	Administración Académico	501	350 - 500	Si
	Sala de Reuniones	748	350 - 500	Si
	Sala de Reuniones Comité Técnico	524	350 - 500	Si
	Decanato Secretaria	738	350 - 500	Si
	Planificación	492	350 - 500	Si
	Decanato Oficina	485	350 - 500	Si
	Vicedecanato Oficina	705	350 - 500	Si
	Secretaria Vicedecanato	520	350 - 500	Si
BIBLIOTECA DE LA FIA	Aula AB	514	350 - 500	Si
	Aula AB2	355	350 - 500	Si
	Dirección de Agronomía	356	350 - 500	Si
	Sala de Geotermia	413	350 - 500	Si
	Salón el Espino	360	350 - 500	Si
	Infocentro CISCO	523	350 - 500	Si
	Biblioteca Principal	899	350 - 500	Si
	Sala de lectura	719	350 - 500	Si
	BIB 301 D	737	350 - 500	Si
	BIB 301 I	472	350 - 500	Si
	Biblioteca de Arquitectura	633	350 - 500	Si
	Secretaria	353	350 - 500	Si
	Oficina de Jefatura	420	350 - 500	Si
	Secretaria de Jefatura	380	350 - 500	Si
	Pinacoteca de Arquitectura	701	500 - 700	Si
Centro de Computo	541	350 - 500	Si	

Tabla 22: tabla resumen del nivel de iluminación en la FIA, UES.

## 2.4. RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN LA FIA, UES

A continuación se muestran las Tablas con las poblaciones a estudiar y las respectivas muestras calculadas según los parámetros mencionados en los anexos sobre muestreo.

Muestras Calculadas para Empleados	Población	Muestra
Escuela de Ingeniería industrial	28	22
Escuela de Ingeniería Química	15	13
Escuela de Ingeniería en Sistemas Informáticos	37	27
Escuela de Ingeniería Mecánica	17	15
Escuela de Ingeniería Civil	32	24
Escuela de Ingeniería Eléctrica	17	15
Escuela de Arquitectura	27	21
Escuela de Ingeniería de Alimentos	18	15
Unidad de Ciencias Básicas (UCB)	35	26
CIAN	9	8
Oficinas Administrativas	50	33

Tabla 23. Cantidad de muestras por escuela, sector empleado

Muestras calculadas para estudiantes		
	Población	Muestra
Número de estudiantes	5480	94

Tabla 24. Cantidad de muestras para estudiantes.

### 2.4.1. Resultados de las Encuestas para Estudiantes

Respuestas	¿Cómo considera usted la iluminación en su salón de clases?
Adecuada	52
Algo Molesta	40
Molesta	2
Total general	94

Tabla 25. Resultados sobre la percepción de la iluminación.

Como podemos notar en la Tabla 25. Sólo el 57% de la población estudiantil considera adecuado el nivel de iluminación en los salones de clase.

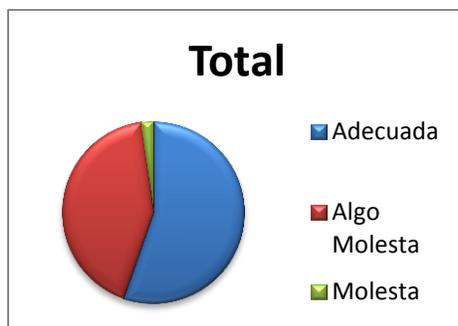


Ilustración 57. Gráfico de pastel sobre la percepción del nivel de iluminación.

Otro dato sumamente interesante obtenido de las encuestas es que el 63% de los encuestados admiten haber sufrido alguno de los síntomas visuales por mala iluminación citados en la encuesta. Otra de las interrogantes planteadas al encuestado fue como preferiría la iluminación con más luz, menos luz o si cambios, estos fueron los resultados

Tabla 26

Respuestas	Si usted pudiera regular la iluminación para estar más cómodo, preferiría tener:
Más luz	45
Menos Luz	9
Sin cambios	40
Total general	94

Tabla 26. Sugerencias de los encuestados para la preferencia de los niveles de iluminación.

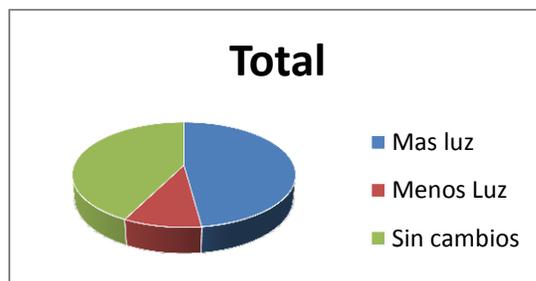


Ilustración 58. Grafico correspondiente a Tabla 26. Sugerencias de los encuestados para la preferencia de los niveles de iluminación.

#### 2.4.2. Resultados de las Encuestas para Docentes

Los resultados a la interrogante sobre la percepción del nivel de iluminación esta fue la respuesta.

¿Cómo considera el nivel de iluminación en su puesto de trabajo?		Porcentaje
CIAN	8	
Adecuada	5	63%
Algo molesta	3	38%
Escuela de Arquitectura	21	
Adecuada	12	57%
Algo molesta	8	38%
Molesta	1	5%
Escuela de Ingeniería Civil	25	
Adecuada	18	72%
Algo molesta	7	28%
Escuela de Ingeniería Eléctrica	15	
Adecuada	9	60%
Algo molesta	6	40%
Escuela de Ingeniería en Alimentos	15	
Adecuada	10	67%
Algo molesta	5	33%
Escuela de Ingeniería en Sistemas Informáticos	27	
Adecuada	17	63%
Algo molesta	10	37%
Escuela de Ingeniería Industrial	22	
Adecuada	12	55%
Algo molesta	10	45%
Escuela de Ingeniería Mecánica	16	
Adecuada	4	25%
Algo molesta	4	25%
Muy molesta	8	50%
Escuela de Ingeniería Química	13	
Adecuada	7	54%
Algo molesta	6	46%
Oficinas Administrativas	33	
Adecuada	23	70%
Algo molesta	9	27%
Muy molesta	1	3%
UCB	25	
Adecuada	18	72%
Algo molesta	7	28%
Total general	220	

Tabla 27. Resultados por escuela de la percepción del nivel de iluminación.

Como podemos notar en la Tabla 27. El recinto peor evaluado es la Escuela de Ingeniería Mecánica y es por ello que hacemos un análisis sobre lo que los encuestados respondieron a lo que ellos preferirían en su nivel de iluminación.

	¿En cuál sector se desarrolla?	Porcentaje
Escuela de Ingeniería Mecánica	16	
Más luz	15	94%
Sin cambios	1	6%
Total general	32	100%

Tabla 28. Sugerencias para un nuevo nivel de iluminación en la escuela de ingeniería mecánica.

Como notamos en la Tabla 28, el 94% de los encuestados en la escuela de ingeniería mecánica responden que para tener un mejor nivel de iluminación se necesita más luz, mientras que el 6% responde que deje dejarse como actualmente se encuentra.

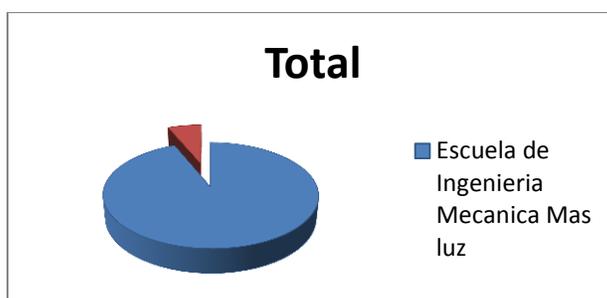


Ilustración 59. Gráfico con referencia a la Tabla 28.

Para referenciar si los encuestados pueden o no controlar el nivel de iluminación natural que ingresa a su área de trabajo se formuló una pregunta en ese aspecto, estos son los resultados por tipo de iluminación con el que se cuenta en el recinto.

¿Tiene la posibilidad de regular la luz natural que ingresa por la ventana?	
No	122
Artificial	44
Una combinación de ambas	78
Si	98
Artificial	6
Una combinación de ambas	92
Total general	220

Tabla 29. Resultados obtenidos a la interrogante sobre la regulación de luz natural.

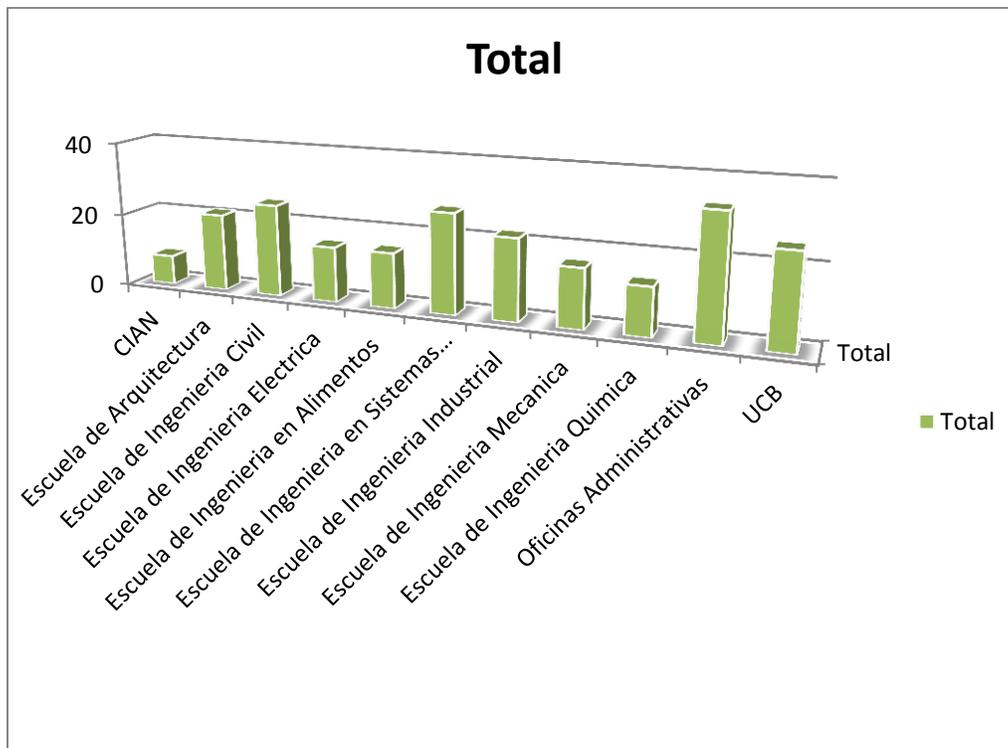


Ilustración 60. Encuestados que no presentan síntomas de mala iluminación tabulados por escuela.

Como último resultado el gráfico mostrado en la Ilustración 60 presenta el número de personas de un total de 40 encuestados por edificio que respondieron no haber tenido ninguno de los síntomas mencionados como afecciones visuales (Visión borrosa, sensación de tener un velo delante de los ojos, vista cansada, pesadez en los párpados, Fatiga en los ojos), debido a la mala iluminación.

### CAPITULO III

#### 3. PROPUESTAS DE REFORMAS DEL SISTEMA DE ILUMINACION DE LA FIA, UES.

##### 3.1. Laboratorio de Telemática, Escuela de Ingeniería Eléctrica

###### 3.1.1. Propuesta de reforma número uno.

Reemplazo de lámparas y difusores (difusor acrílico, lámparas fluorescentes F032W/65k 865).

Si las lámparas y difusores instaladas en este local son reemplazadas por unas nuevas de las mismas características, se obtienen los siguientes resultados en DIALux Ilustración 31.

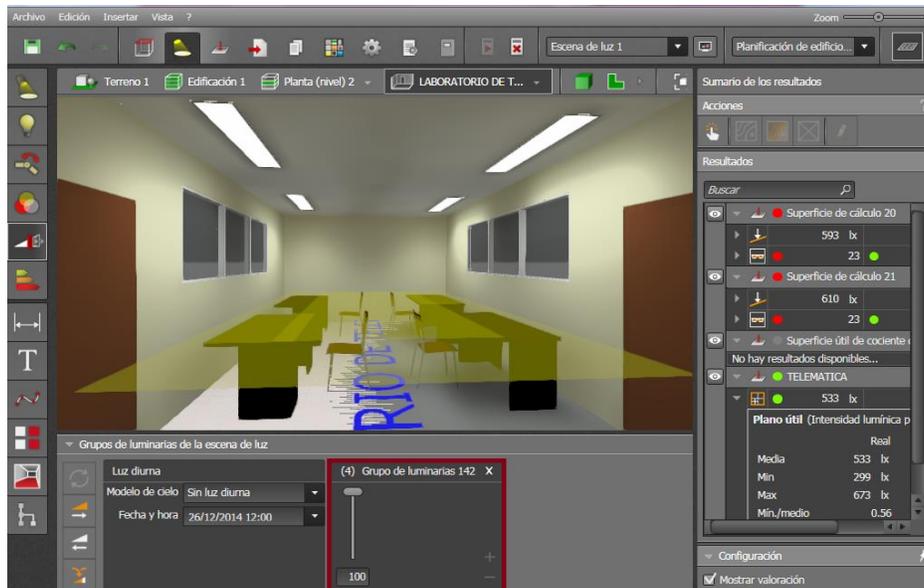


Ilustración 61. Luminarias trabajando a un 100%.

Parámetro Luminotécnico	Valor Simulado (DIALux) Luminarias a un 52%	Valor Simulado (DIALux) Luminarias a un 100%
Iluminancia media (Em)	277lx	533lx
Uniformidad (U)	0.56	0.56
Valor de eficiencia Energética(VEE)	6.65W/m <sup>2</sup> /100lx	3.46W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento Plano 1	20	23
Deslumbramiento Plano 2	21	23

Tabla 30. Comparación de resultados obtenidos en DIALux del laboratorio de telemática, luminarias con un rendimiento del 52% y 100%.

Se observa que al remplazar las lámparas y difusores por unos nuevos de las mismas características de los ya instalados, los resultados obtenidos de los parámetros luminotécnicos mostrados en la columna tres Tabla 30, son favorables ya que cumplen con lo establecido en el REGLAMENTO GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO DE EL SALVADOR Decreto No 89 [18], conjuntamente con la Norma Europea iluminación de interiores UNE-EN 12464-1. Sin embargo el deslumbramiento obtenido supera los límites establecidos en dichas normas.

### 3.1.2. Mantenimiento de las luminarias

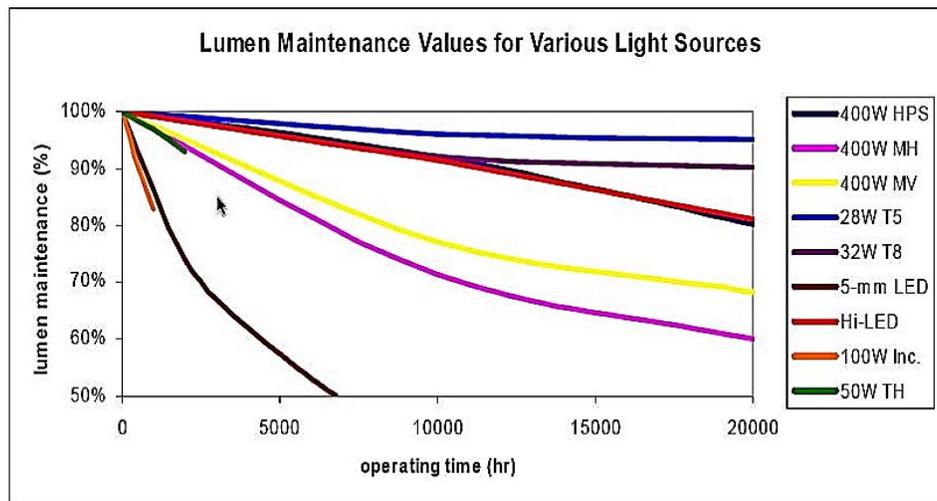
Con el paso del tiempo, la suciedad que se va depositando sobre las ventanas, luminarias y superficies que forman las salas, unido a la disminución de flujo luminoso que

experimentan las lámparas a lo largo del tiempo, hace que el nivel inicial de iluminación que se disfrutaba en ellas, descienda sensiblemente. Como se vio anteriormente los valores iniciales de iluminancia pueden volver a alcanzarse limpiando las luminarias y cambiando las lámparas a intervalos convenientes. La disposición de polvo sobre las luminarias y lámparas, está afectada por el grado de ventilación, el ángulo de inclinación, el acabado de las superficies que forman las luminarias y el grado de contaminación del ambiente que las rodea.

#### Salida de luz útil (Mantenimiento Lumen)

Todas las fuentes de luz se degradan pero la mayoría sólo se "queman" antes de la pérdida grave de salida de luz.

En la Ilustración 62, se muestra porcentaje de los valores de mantenimiento de lumen por diversas fuentes de luz.



Source: Lighting Research Center - Rea 2000; Bullough 2003

Ilustración 62: curva de vida útil de diversas fuentes de luz con respecto al tiempo de operación.

De la Ilustración 62, se concluye que las lámparas fluorescente (32W T8) instaladas en el laboratorio de telemática han estado en operación por más de 20,000 horas ya que los resultados obtenidos en DIALux muestran que las luminarias están operando a un 52% y la vida útil especificada en la hoja técnica de las luminarias es de 20,000 horas por lo que se recomienda que se cambien las lámparas y se limpien las luminarias [19].

### 3.1.3. Corrección del deslumbramiento

El control del deslumbramiento se puede lograr mediante la distribución idónea de mesas, pupitres, pizarras, luminarias etc., y utilización de sistemas de apantallamiento con regulación en ventanas y claraboyas (laminas, persianas, cortinas, etc.).

En el presente local en particular la forma más económica de evitar el deslumbramiento es la redistribución de las mesas de trabajo con las siguientes características de posición con respecto a las luminarias:



Ilustración 63. Zonas que deben tomarse en cuenta a la hora de la distribución de luminarias y mesas de trabajo.

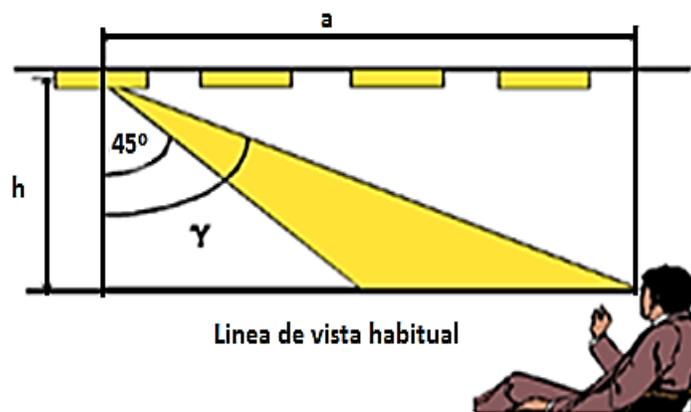


Ilustración 64. Ángulos a manipular para el control del deslumbramiento.

Definir el ángulo máximo, para la longitud “a” y altura del local “h” entre el nivel del ojo del observador más desfavorable y el plano de las luminarias como se observa en la Ilustración 64, el ángulo “ $\gamma$ ” debe ser mayor que  $45^\circ$  para evitar la zona de brillo directo de la luminaria la cual se muestra en la Ilustración 63 [21].

Tomando una altura estándar de una línea visual habitual de 1.20m, la ubicación actual de las mesas de trabajo con respecto a la distribución de las luminarias es: altura del local de la línea visual a la luminaria  $h = 1.6$ m, distancia horizontal de la posición de una persona en la mesa de trabajo a la luminaria  $a = 0.50$  y un ángulo de  $\gamma = 17.75^\circ$ , lo que nos indica que está dentro de la zona de brillo directo.

Nueva ubicación de las mesas de trabajo para corregir el deslumbramiento.

Desplazando la silla de trabajo 1.3m y la posición de las mesas respectivamente, el nuevo valor de  $a = 1.8$ , con lo que se obtiene un ángulo  $\gamma = 48.4^\circ$  como se muestra en la Ilustración 65.

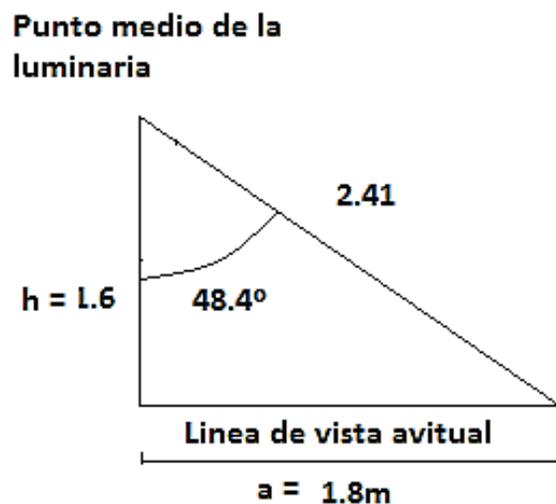


Ilustración 65. Nueva posición de las mesas de trabajo con un ángulo  $\gamma = 48.4^\circ$ .

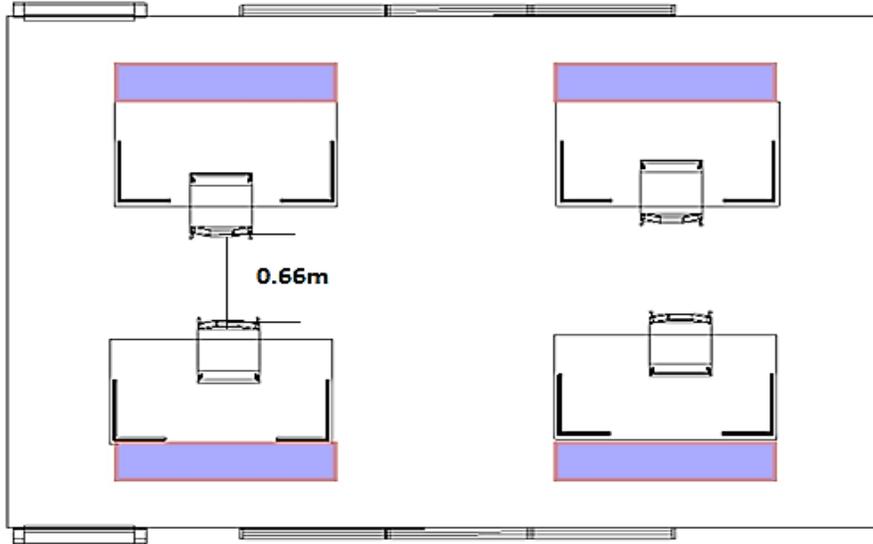


Ilustración 66. Vista en planta del laboratorio de telemática con las mesas de trabajo desplazadas.

Con la nueva posición de las mesas de trabajo hacia el centro del local como se muestra en la Ilustración 66, quedando una zona para la circulación de estudiantes de 0.66m entre mesas de trabajo con lo que se logra bajar el deslumbramiento hasta un valor de 19, como se muestra en la Ilustración 67 lo cual cumple con lo normado según el decreto 89 y la norma UNE 12464-1.

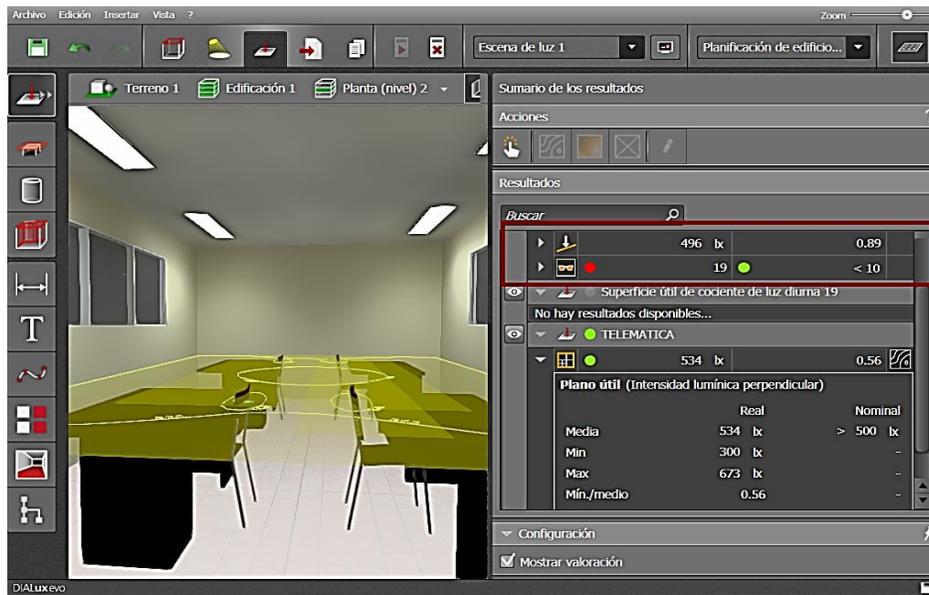


Ilustración 67. Luminarias trabajando a un 100% con nueva posición de las mesas de trabajo y deslumbramiento corregido a un máximo de 19.

### 3.1.4. Estudio de evaluación energética

Valoración del tiempo anual de la actividad [19].

El tiempo anual de la actividad de cada local o espacio, es muy importante a la hora de valorar el ahorro energético que supondría la implantación de un sistema de iluminación eficiente en cada tipo de espacio.

En este centro docente, se ha considerado de 9 a 12 horas diarias durante 10 meses al año. En otros tipos de centros, la duración de la actividad puede estimarse entre 6 y 8 horas diarias.

Esto representa una utilización anual de: uso de día 9h x 20 días x 10 meses = 1,800 horas año, uso de noche 2h x 20 días x 10 meses = 400 horas por año, por lo tanto se estima un tiempo total anual de 2,200 horas año. En estos ya sean añadidos los tiempos empleados en la limpieza del local.

Indicador Numérico de energía para iluminación (LENI)

El indicador numérico de energía para iluminación para el edificio debe establecerse usando la siguiente ecuación:

$$LENI = \frac{W}{A} = [kWh/(m^2 \times \text{año})]$$

Dónde:

W es la energía total anual usada para la iluminación [ $kWh/(\text{año})$ ].

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

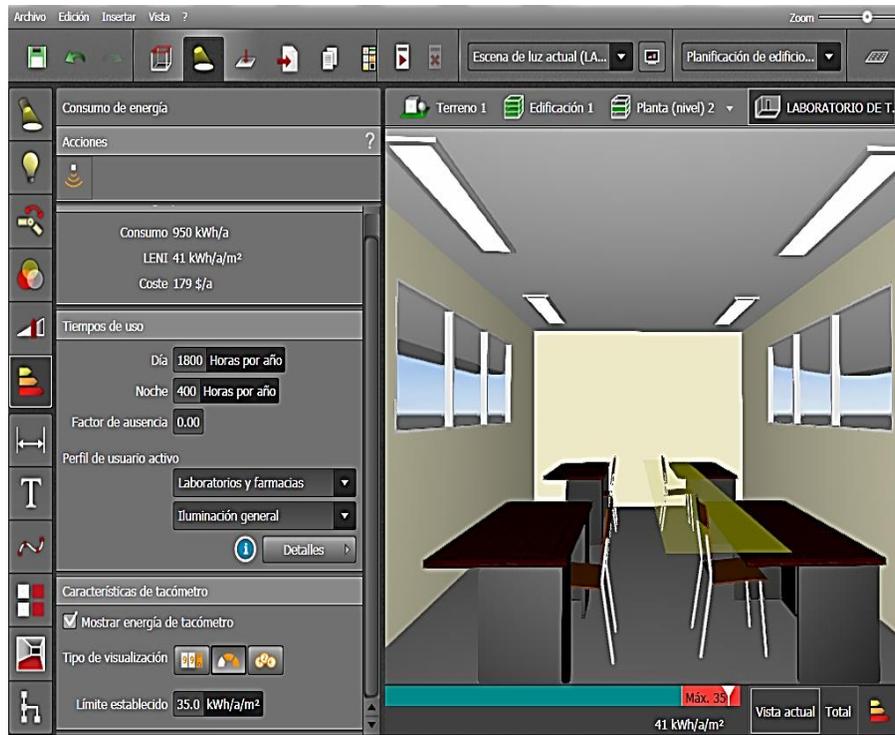


Ilustración 68. Resultados de Consumo, LENI y Costo Anual.



Ilustración69. Valores límites establecidos de Consumo, LENI y Costo en DIALux según norma UNE NE15193.

Como podemos observar los valores normados que se muestran en la Ilustración 69, no están muy alejados de los obtenidos Ilustración 68, la diferencia se debe a que la norma UNE NE15193 [19], toma como referencia para este tipo de local un tiempo de uso de 2000 horas por año y en nuestro estudio hemos considerado 2200 horas por año, como también la norma establece una potencia nominal de  $15W/m^2$ , pero en el local están instalados según las especificaciones técnicas de las lámparas y luminarias una potencia de 426W, este cálculo se muestra en el capítulo 2 en el apartado análisis de resultados, de lo que se obtiene  $18.35W/m^2$  instalados.

Al hacer el cálculo del LENI, con los valores reales de la de la instalación y considerando 2000 Horas de uso se obtiene:

$$LENI = \frac{852}{23.21} = 36.71 [kWh/(m^2 \times año)]$$

De lo que se concluye que el sistema de iluminación instalado en este local está fuera del límite de eficiencia energética y no cumple el mantenimiento periódico que debe de tener el sistema de iluminación.

#### 3.1.5. Propuesta de Reforma Número Dos.

Diseño eficiente energéticamente en DIALux, del sistema de iluminación del laboratorio de Telemática.

Instalación de dos nuevas luminarias con tres tubos led de 18W cada una y reemplazo de los tubos fluorescentes de 32W por tubos led de 18W e instalación de nuevos difusores acrílicos en luminarias ya existentes.

Importando los archivos “.ies” en DIALux de las siguientes luminarias Led (L.LED-18W/30T8-6500K) con el tipo de tubos Led y modelo de difusor antes mencionados. DIALux nos arroja que para cumplir con los estándares de eficiencia energética Ilustración 69, se deben de instalar seis luminarias Led, la distribución de estas se muestra en la siguiente Ilustración 70, con una altura de montaje de 1.9m con respecto al plano útil de 0.8m.

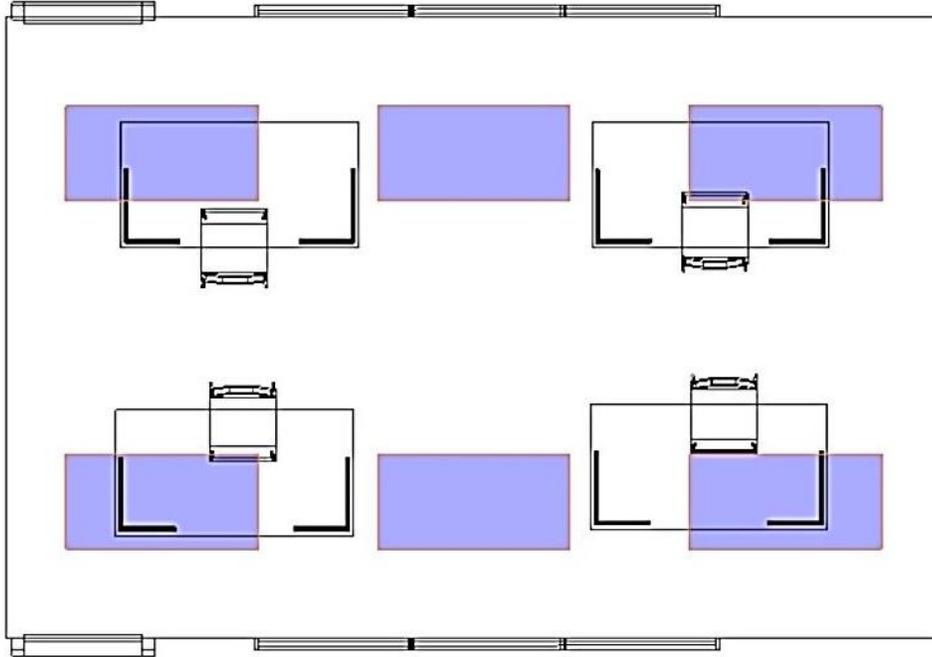


Ilustración 70. Distribución de las luminarias dentro del laboratorio de Telemática de manera que se cumplan los parámetros luminotécnicos.

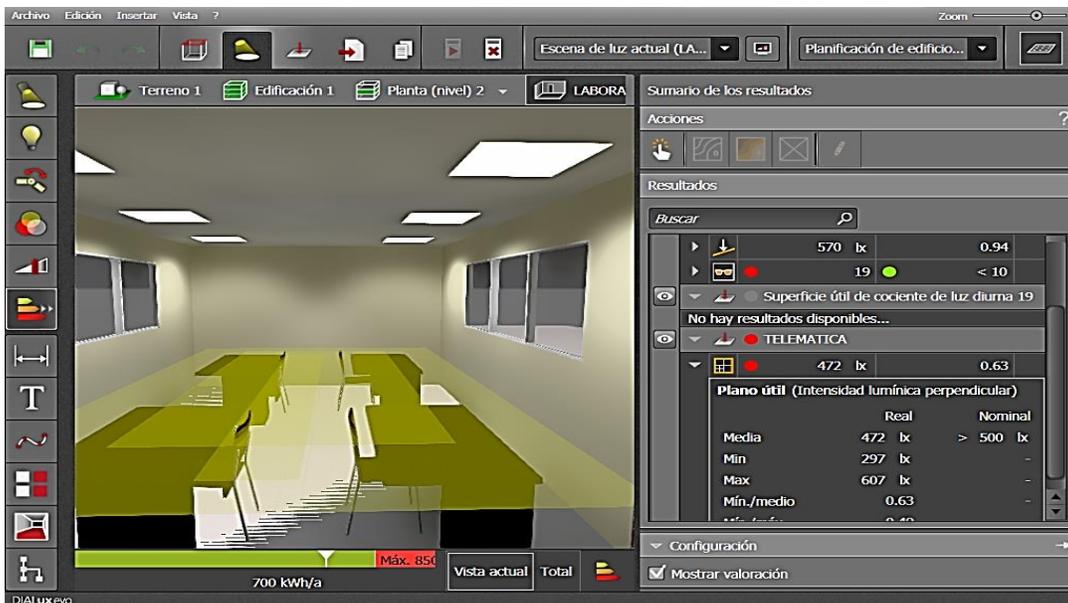


Ilustración 71. Resultados luminotécnicos obtenidos con seis luminarias con tubos Led 18W y difusores acrílicos.

### 3.1.6. Estudio de Evaluación Energética

#### Valoración del tiempo anual de la actividad

Este local representa una utilización anual de: uso de día 9h x 20 días x 10 meses = 1,800 horas año, uso de noche 2h x 20 días x 10 meses = 400 horas por año, por lo tanto sea estimado un tiempo total anual de 2,200 horas año. En estos se incluyen los tiempos empleados en la limpieza del local Ilustración72.

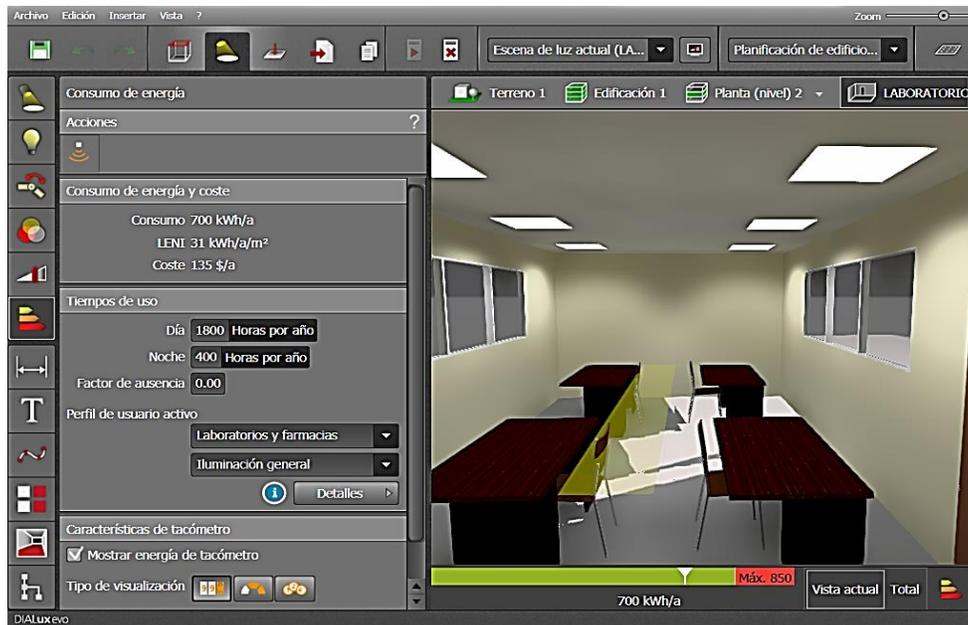


Ilustración72: Valores obtenidos, LENI y Consumo en DIALux según norma UNE NE15193.

Parámetro Luminotécnico	Valor (DIALux) Luminarias con tubos Led de 18W y difusores acrílicos.	Intervalos de Valores Luminotécnicos Normados.
Iluminancia media (Em)	472lx	350lx a 500lx
Uniformidad (U)	0.63	0.5 a 0.8
Valor de eficiencia Energética (VEE).	2.97W/m <sup>2</sup> /100lx	(2 a 4)W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento (UGR)	19	19
Indicador Numérico de Energía para Iluminación (LENI).	31[kWh/(m <sup>2</sup> xaño)]	35 [kWh/(m <sup>2</sup> xaño)]

Tabla 31. Resumen de los parámetros luminotécnicos del nuevo diseño de iluminación propuesto e intervalos permitidos de los parámetros luminotécnicos que no causan daño en la vista del ojo humano.

Como podemos observar de la Tabla 31, los valores obtenidos de los parámetros luminotécnicos están dentro del rango permitido del nivel de iluminación basados en estudios realizados por la IES, como por ejemplo la iluminación media puede variar de 500lx a 350lx sin que el ojo humano perciba un cambio del nivel de iluminación, ya que experimentos en los laboratorios de la IES (documento LM80), han demostrado que el ojo humano percibe un cambio de iluminación cuando la intensidad luminosa disminuye a más de un 30%.

### 3.2. Cubículo del Ing. Salvador, Escuela de Ingeniería Eléctrica.

#### 3.2.1. Propuesta de Reforma Número Uno

Reemplazo de lámparas y difusores (difusor acrílico, lámparas fluorescentes F032W/65k 865).

Si las lámparas y difusores instaladas en este local son reemplazadas por unas nuevas de las mismas características, se obtienen los siguientes resultados en DIALux Ilustración 73.

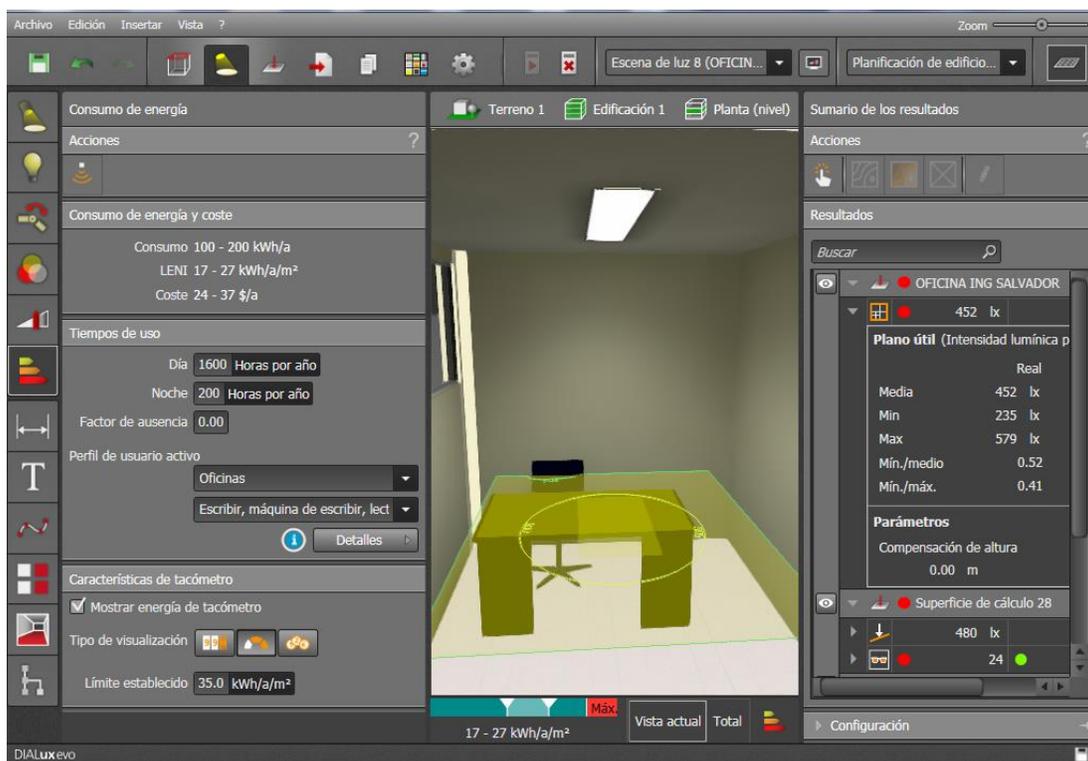


Ilustración 73. Luminarias trabajando a un 100%.

Parámetro Luminotécnico	Valor (DIALux) Luminarias a un 52%	Valores (DIALux) Luminarias a un 100%
Iluminancia media (Em)	240lx	452lx
Uniformidad (U)	0.496	0.52
Valor de eficiencia Energética(VEE)	6.18W/m <sup>2</sup> /100lx	3.28W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento Plano	22	24

Tabla 32. Comparación de resultados obtenidos en DIALux de la oficina del Ing. Salvador, luminarias con un rendimiento del 56% y 100%.

Se observa que al remplazar las lámparas y difusores por unos nuevos de las mismas características de los ya instalados, de los resultados obtenidos se observa que la Iluminancia columna tres de Tabla 32, están dentro del intervalo permitido (350lx a 500lx) en las normas antes mencionadas sin embargo el deslumbramiento sobre pasa de 19.

### 3.2.2. Propuesta Número Dos

Reemplazando los tres tubos fluorescentes por cuatro tubos led T8 de 18W e instalando difusores acrílicos. Obtenemos los siguientes resultados Ilustración 74.

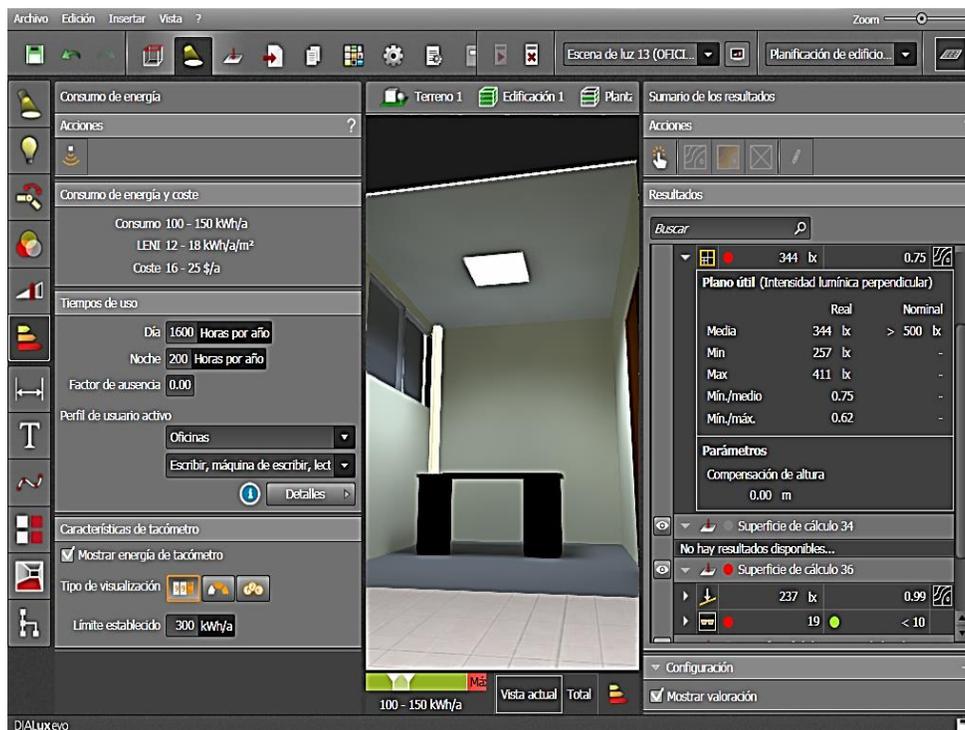


Ilustración 74. Resultados obtenidos con cuatro nuevas luminarias Led instaladas.

Parámetro Luminotécnico	Valor Futuro (DIALux) Nuevas Luminarias LED
Iluminancia media (Em)	344lx
Uniformidad (U)	0.75
Valor de eficiencia Energética(VEE)	2.9W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento Plano	19

Tabla 33. Resultados obtenidos en DIALux, luminarias remplazadas por unas nuevas con tubos led de 18W.

Con el nuevo tipo de luminaria instaladas, los resultados obtenidos de los parámetros luminotécnicos Tabla 33, se observa que la iluminancia media esta 6lx abajo del límite inferior permitido (350 lx) sin embargo la diferencia es significativa ya que esta no es percibida por el ojo humano por lo tanto son aceptables los valores obtenidos. Con respecto a los otros parámetros cumplen con lo establecido en las normas antes mencionadas.

### 3.2.3. Estudio de Evaluación Energética

Valoración del tiempo anual de la actividad.

Esto representa una utilización anual de: uso de día 8h x 20 días x 10 meses = 1,600 horas año, uso de noche 1h x 20 días x 10 meses = 200 horas por año, por lo tanto sea estimado un tiempo total anual de 1800 horas año. En estos ya sea añadido el tiempo empleado en la limpieza del local.

Indicador Numérico de energía para iluminación (LENI).

Como también se puede observar en la Ilustración 74, que el indicador numérico de energía para iluminación (LENI) obtenido es de  $18[kWh/(m^2 \text{ año})]$ , y el establecido por la norma UNE NE15193 es de  $35[kWh/(m^2 \text{ año})]$ , por lo tanto cumple con las características de un sistema de iluminación eficientemente energético.

## 3.3. Laboratorio de Metalografía, Escuela de Ingeniería Mecánica

### 3.3.1. Propuesta de Reforma número uno

Reemplazo de lámparas (lámparas fluorescentes F40T12 DX). Si las lámparas instaladas en este local son reemplazadas por unas nuevas de las mismas características, se obtienen los siguientes resultados en DIALux.



Ilustración 75. Luminarias trabajando a un 100%.

Parámetro Luminotécnico	Valor (DIALux) Luminarias a un 52%	Valor (DIALux) Luminarias a un 100%
Iluminancia media (Em)	135lx	403lx
Uniformidad (U)	0.415	0.48
Valor de eficiencia Energética(VEE)	9.16W/m <sup>2</sup> /100lx	3.40W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento Plano	18	21

Tabla 34: Comparación de resultados obtenidos en DIALux, luminarias con un rendimiento del 40% columna dos y al 100% columna tres.

Se observa que al reemplazar las lámparas por unas nuevas de las mismas características de las ya instaladas, los resultados obtenidos de los parámetros luminotécnicos (Iluminancia media y deslumbramiento) columna tres de Tabla 34, aun no cumplen con lo establecido (500lx y 19 respectivamente) en las normas antes mencionadas.

### 3.3.2. Propuesta de reforma número dos

Por lo tanto se hace necesario cambiar el tipo de luminaria por otras más eficiente: reemplazando las luminarias ya instalada por las siguientes TCS 471 TL5-32W/840 obtenemos los siguientes resultados Ilustración 76.

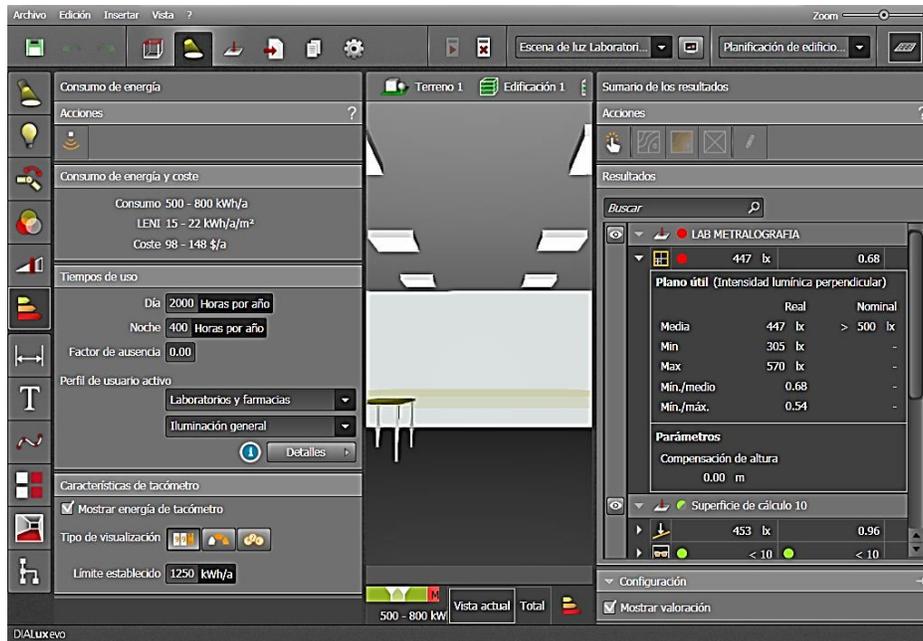


Ilustración 76: Resultados obtenidos con nuevas luminaria instalada.

Parámetro Luminotécnico	Valor (DIALux) Luminarias instaladas a un 100%	Valor (DIALux) Nuevas Luminarias a un 100%
Iluminancia media (Em)	403lx	447lx
Uniformidad (U)	0.48	0.68
Valor de eficiencia Energética(VEE)	3.40W/m <sup>2</sup> /100lx	2.2W/m <sup>2</sup> /100lx
Deslumbramiento Plano	21	19

Tabla 35: Comparación de resultados obtenidos en DIALux, luminarias ya instaladas y luminarias remplazadas por unas nuevas.

Con el nuevo tipo de luminarias instaladas los resultados obtenidos de los parámetros luminotécnicos Ilustración 76, y columna tres de Tabla 35, cumplen con el intervalo establecido en las normas antes mencionadas.

### 3.3.3. Estudio de evaluación energética

Valoración del tiempo anual de la actividad.

Esto representa una utilización anual de: uso de día 10h x 20 días x10 meses = 2,000 horas año, uso de noche 2h x 20 días x 10 meses = 400 horas por año, por lo tanto sea estimado un tiempo total anual de 2,400 horas año. En estos ya sea añadido el tiempo empleado en la limpieza del local.

Indicador Numérico de energía para iluminación (LENI)

Como también se puede observar en la Ilustración 76, que el indicador numérico de energía para iluminación (LENI) obtenido es de  $22[kWh/(m^2 \times año)]$ , y el límite establecido por la norma UNE NE15193 es de  $35[kWh/(m^2 \times año)]$ , por lo tanto cumplen con las características de un sistema de iluminación eficientemente energético.

### 3.4. EQUIPO DE ILUMINACIÓN PROPUESTO EN 15 LOCALES DE LA FIA, UES.

Para las reformas de los siguientes locales se ha seguido la misma metodología de análisis de diseño expuesta anteriormente, por lo tanto el equipo de iluminación a instalar en estos locales para que cumplan con los parámetros luminotécnicos y los requerimientos de eficiencia energética son los que se muestran en la Tabla 36.

LOCAL	TIPO DE LUMINARIA O LÁMPARA A INSTALAR	CANTIDAD
Escuela de Ingeniería Eléctrica		
Laboratorio de Telemática	Tubos Led 18W	18
	Carcasa de luminaria 2x4ft	2
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	6
Cubículo del Ing. Cortez	Tubos Led 18W	4
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	1
Cubículo del Ing. Salvador	Tubos Led 18W	4
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	1
Cubículo del Ing. Marvin	Tubos Led 18W	4
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	1
Cubículo del Ing. Willber	Tubos Led 18W	4
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	1
Edificio D		
Salón de Clases D43	Tubos Led 18W	36
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	9
Escuela de Ingeniería Mecánica		
Laboratorio de Metalografía	Tubos Led 18W	18
	Carcasa de luminaria 2x4ft	6

LOCAL	TIPO DE LUMINARIA O LÁMPARA A INSTALAR	CANTIDAD
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	6
Laboratorio de Tratamiento Térmico	Tubos Led 18W	21
	Carcasa de luminaria 2x4ft	7
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	7
Cubículo 8	Tubos Led 18W	6
	Carcasa de luminaria 2x4ft	2
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	2
Cubículo 11	Tubos Led 18W	6
	Carcasa de luminaria 2x4ft	2
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	2
Cubículo 12	Tubos Led 18W	6
	Carcasa de luminaria 2x4ft	2
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	2
Cubículo 13	Tubos Led 18W	6
	Carcasa de luminaria 2x4ft	2
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	2
Secretaria	Tubos Led 18W	12
	Carcasa de luminaria 2x4ft	4
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	4
Oficina del director	Tubos Led 18W	12
	Carcasa de luminaria 2x4ft	4
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	4
Escuela de Ingeniería en Sistemas		
Cubículos de Sistemas Sector 3	Tubos Led 18W	36
	Difusor Acrílico para lámpara 22X46"	12

Tabla 36. Reforma del sistema de iluminación de 15 locales de la FIA, UES.

### 3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE CAMBIOS PROPUESTOS EN LA ILUMINACIÓN FIA, UES.

PRESUPUESTO DE LOS CAMBIOS PROPUESTOS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FIA, UES.			
Descripción	Precio por unidad (\$)	Cantidad	PRECIO TOTAL (\$)
Difusor Acrílico para lámpara de 22x46''	7.00	43	301.00
Carcasa de luminaria de 2X4ft	25.00	33	825.00
Tubos Clear Led T8 18W	15.82	193	3,053.26
Inversión Total de Material			4,179.26
Costo Por Mano de Obra			1,671.704
<b>INVERSION TOTAL</b>			<b>5,850.964</b>

Tabla 37. Presupuesto de Reforma de 15 Locales de la FIA, UES.

El valor total del costo de mano de obra sea tomado como el 40% de la inversión total del material, la inversión total es la suma de la inversión total de materiales y el costo de mano de obra, para incluir los costos del transporte y otros elementos no especificados en el presupuesto. Para este análisis se hecho uso de las siguientes herramientas de evaluación de un proyecto:

- VAN: valor actual neto, debe de ser mayor que cero, un VAN negativo, indica que el proyecto no es factible.
- TIR: tasa interna de retorno, es aquella que hace el VAN=0, debería de ser mayor que el TMAR.
- TMAR: tasa mínima atractiva de retorno, es igual a la inflación anual + premio al riesgo + utilidades, se expresa en %.
- B/C: relación beneficio/costo, determina cuales son los beneficios por cada dólar invertido.

Tasa Mínima Aceptable de Retorno: TMAR = Tasa de inflación "f" + Premio al riesgo.

La tasa de inflación anual 2014, El Salvador 2.4% (CIA World Factbook). El premio al riesgo se tomará de la mejor tasa de interés para operaciones pasivas, de acuerdo al Banco

Agrícola Comercial, siendo esta de 5.84%, de manera que:  $TMAR = 2.4 \% + 5.84 \% = 8.24 \%$ . Expresa la rentabilidad mínima que la empresa espera obtener del proyecto. Por lo tanto los cálculos se efectuarán para una tasa de descuento del 8.24%.

Para el análisis de valor presente, se toma una tasa mínima de descuento del 8.24%, o el equivalente de la suma del premio al riesgo + % de inflación anual, basado en los rendimientos bancarios y en la inflación. Este porcentaje corresponde a la rentabilidad mínima que la empresa espera obtener por ejecutar dicho proyecto.

El precio de la energía al consumidor en horario resto, 5 am a 6 pm, del pliego tarifario vigente en el 2015 en El Salvador muestra un costo por KWh de \$0.19/KWh. Se necesita estimar la tasa de variación de los costos de la energía en el país, para lo cual se puede emplear, entre otros, el índice de precios al consumidor de los Estados Unidos, publicado por el Bureau of Labor Statistics. El cual reporta una variación anual en el precio de la electricidad del 3.2%. También se ha considerado que la instalación es financiada, 100% con fondos propios.

Ahorro Energético en KWh/año	4,589.20
Monto de la obra	5,850.964
Ahorro de costos anuales brutos, asumiendo el mismo costo de venta actual de la energía, Tarifa actual \$0.193013/KWh en horario resto(5am-6pm), no incluye IVA	\$871.95
Incremento anual en costo de la energía	3.20%
Costo de mantenimiento \$75 una vez al año.	\$75
Cobertura económica	100%
Vida útil en años del sistema de iluminación tomando 2,200 horas de encendido.	22
Tasa mínima aceptable de retorno TMAR	8.24
Tasa de descuento	8.24%

Tabla 38. Resumen de Variables a Utilizar en el análisis Económico.

Año	Incremento del precio de la energía 3.2%	Ahorro de energía en	Beneficio anual bruto	Inflacion 0,024	Flujo neto efectivo	t=0.0824	Beneficios	Costos	Tiempo de recuperacion	Saldo para recuperar la inversion
n	0.032	KWh/a	Ingrso por ahorro de eneria \$	costo de mantenimiento	Flujo de caja	$\frac{FCn}{(t+1)^n}$	Ingresos brutos presentes	Valor presente de costo de Mto.	Utilidad presente acumulada	Saldo
1	0.19	4589.2	871.948	75	796.948	736.27864	805.569106	69.2904656	736.2786401	-5114.68536
2	0.19608	4589.2	899.850336	76.8	823.050336	702.50728	768.059236	65.5519557	1438.78592	-4412.17808
3	0.20235456	4589.2	928.645547	78.6432	850.0023468	670.280792	732.295946	62.0151539	2109.066712	-3741.89729
4	0.208829906	4589.2	958.362204	80.5306368	877.8315674	639.528731	698.197908	58.6691774	2748.595443	-3102.36856
5	0.215512463	4589.2	989.029795	82.4633721	906.5664227	610.183854	665.687584	55.5037303	3358.779297	-2492.1847
6	0.222408862	4589.2	1020.67875	84.442493	936.2362552	582.181973	634.691045	52.5090722	3940.96127	-1910.00273
7	0.229525945	4589.2	1053.34047	86.4691128	966.8713553	555.461815	605.137803	49.6759885	4496.423085	-1354.54092
8	0.236870776	4589.2	1087.04736	88.5443716	998.5029916	529.964894	576.960655	46.9957615	5026.387978	-824.576022
9	0.24445064	4589.2	1121.83288	90.6694365	1031.163442	505.635381	550.095525	44.4601439	5532.023359	-318.940641
10	0.252273061	4589.2	1157.73153	92.8455029	1064.886028	482.419987	524.481321	42.0613335	6014.443347	163.479347
11	0.260345799	4589.2	1194.77894	95.073795	1099.705145	460.267847	500.059796	39.7919489	6474.711194	623.747194
12	0.268676864	4589.2	1233.01187	97.3555661	1135.6563	439.130408	476.775415	37.6450071	6913.841602	1062.8776
13	0.277274524	4589.2	1272.46825	99.6920997	1172.776146	418.961328	454.57523	35.6139018	7332.80293	1481.83893
14	0.286147309	4589.2	1313.18723	102.08471	1211.102519	399.716372	433.408755	33.692383	7732.519302	1881.5553
15	0.295304023	4589.2	1355.20922	104.534743	1250.674478	381.353322	413.22786	31.8745383	8113.872624	2262.90862
16	0.304753751	4589.2	1398.57592	107.043577	1291.532339	363.831878	393.986651	30.1547738	8477.704501	2626.7405
17	0.314505871	4589.2	1443.33035	109.612623	1333.717722	347.113577	375.641375	28.5277979	8824.818078	2973.85408
18	0.324570059	4589.2	1489.51692	112.243326	1377.273591	331.161709	358.150313	26.988604	9155.979787	3305.01579
19	0.334956301	4589.2	1537.18146	114.937166	1422.244292	315.941235	341.473691	25.5324561	9471.921022	3620.95702
20	0.345674903	4589.2	1586.37126	117.695658	1468.675607	301.418712	325.573586	24.1548735	9773.339734	3922.37573
21	0.3567365	4589.2	1637.13514	120.520353	1516.614791	287.562223	310.41384	22.8516172	10060.90196	4209.93796
22	0.368152068	4589.2	1689.52347	123.412842	1566.110628	274.341303	295.95998	21.618677	10335.24326	4484.27926
		Suma	27238.7569	2140.61458	25098.1423	10335.2433	11240.4226	905.179361		
					Inversion Inicial	-5850.964		5850.964		
					VAN	\$ 4,484.28		6756.14336		
							B/C	1.66373359	TIR	16%

Tabla 39. Calculo de Variables a Utilizar en el Análisis Económico con Excel.

De la Tabla 39, se puede observar que el tiempo de recuperación es de aproximadamente **10 años**, con una inversión inicial total de **5,850.964** obteniendo un VAN de **\$4,484.28** y una relación de beneficios costos de **1.66** y una tasa de retorno TIR de **16%**.

Por lo tanto los resultados obtenidos hacen factible el proyecto, se recomienda hacer el cambio de tecnología de fluorescente a led, ya que si solo son reemplazadas las lámparas fluorescentes, no se recupera la inversión, y el tiempo de vida útil es de 20,000 horas (aproximadamente 9 años) y en cambio la vida útil de las lámparas led es de 50,000 horas (aproximadamente 22 años), tomando como referencia 2,200 horas de encendido al año.

### 3.6. ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO.

Comparación del Consumo Energético Antes y Después del Cambio de Tecnología.	Potencia (W)	E (KWh/a)	Costo de Energía al año (0.19\$/KWh)
Consumo Energético Antes de la Reforma (Tubos Fluorescentes).	5,560.00	12,232.00	\$ 2,324.08
Consumo Energético Después de la Reforma (Tubos Led).	3,447.00	7,642.80	\$ 1,452.13
Ahorro Energético al año	2,113.00	4,589.20	\$ 871.95

Tabla 40. Comparación del Sistema de iluminación Antes y Después de la Reforma.

De la tabla anterior se puede observar que la potencia instalada se puede reducir hasta un 38% usando tecnología LED, con lo que se obtiene un ahorro de energía de 4.589,20KWh/a y un ahorro en costo de \$871,95KWh/a.

### 3.7. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FIA, UES.

#### 3.7.1. Depreciación luminosa

Factores que influyen en estas pérdidas son (Según la C.I.E):

- Fallo por mortalidad o mal funcionamiento de los componente
- Acumulación de polvo y suciedad en el exterior de la luminaria
- Envejecimiento de las lámparas
- Deterioro y envejecimiento de la parte interior de la lámpara debido a la oxidación, efectos del calor, etc.
- Variaciones de temperatura elevadas
- Fallo prematuro del equipo auxiliar
- Voltaje incorrecto entre bornes
- Fallos de la instalación

Para mantener el mínimo valor permitido establecido para el que se ha diseñó el sistema de iluminación en la FIA, es necesario realizar un mantenimiento adecuado del sistema completo: limpiar el conjunto lámpara-luminaria o cambiar las lámparas que no funcionan

con una cierta frecuencia o según el tiempo de vida especificado en la hoja técnica de las lámparas, etc. Los periodos de mantenimiento, se acuerdan previamente en la etapa de diseño del proyecto.

En la Ilustración 77, se observa la evolución que sufre el sistema con el tiempo. Por ejemplo, el porcentaje de iluminación disminuye hasta un 71% los primeros seis meses, si en este momento se limpia el conjunto, al cabo de un año, el porcentaje de iluminación será del 70%. En cambio, si la limpieza se realiza al año, el porcentaje baja hasta el 62%.

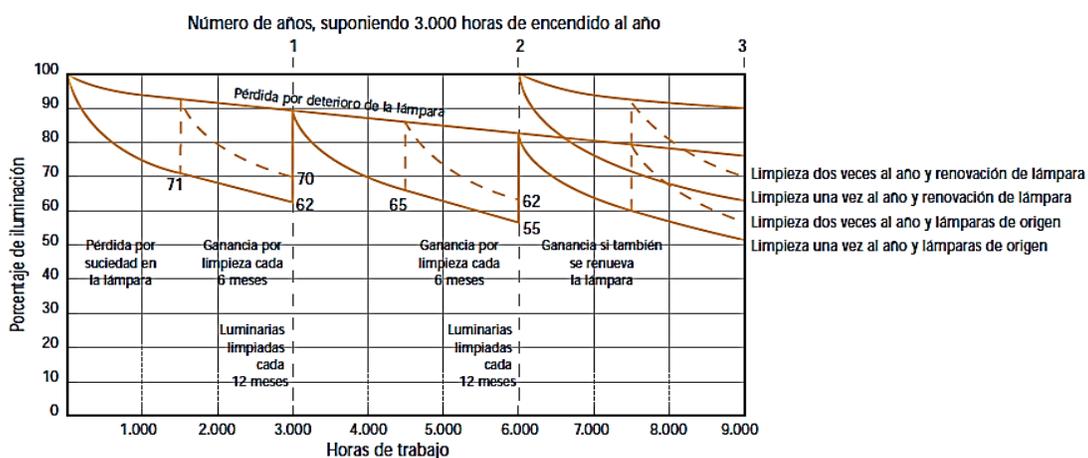


Ilustración 77. Gráfica de pérdida del sistema de iluminación con el tiempo.

### 3.7.2. Programa de Mantenimiento

Los objetivos del mantenimiento de luminarias son:

- Ofrecer las mismas condiciones iniciales durante toda la vida útil de la instalación
- Conseguir que la duración de la instalación sea como mínimo igual o superior a la prevista.

Para conseguir dichos objetivos, se recomienda realizar las siguientes tareas:

#### Control de funcionamiento

Generalmente, un control visual es suficiente para conocer el alcance de los desperfectos, en caso de que existan.

Los trabajos incluidos en el control de funcionamiento se dividen en:

- Las posiciones corresponden a:
- Inspecciones diurnas; contralan el estado físico de las luminarias, lámparas, etc.
- Inspecciones nocturnas; inspecciones realizadas durante el periodo de funcionamiento del alumbrado. Se realizan control de encendido y apagado y control de lámparas en servicio.
- Reparación de averías; reparaciones de averías eléctricas y mecánicas.
- Mediciones y verificaciones; control de las características eléctricas de las instalaciones de la red.

Mantenimiento preventivo

- Este tipo de tarea consiste en el cambio masivo de lámparas, un poco antes de que lleguen al final de su vida útil y limpieza de luminarias, para reducir el número de operaciones puntuales que elevan el coste de mantenimiento y reducen la calidad del servicio.
- El cambio de equipos auxiliares y la pintura de soporte de las luminarias y del local, también es una medida de mantenimiento preventivo que se debe tener en cuenta.

Período de mantenimiento

- El control del funcionamiento y mantenimiento preventivo se recomienda que se haga por lo menos una vez al año.
- Cambio de lámparas: según vida útil dada por el fabricante.
- Cambio de los equipos auxiliares y otros elementos: cada 10 años.

En general, las operaciones de mantenimiento se debe intentar que coincidan, es decir, es aconsejable que cuando sea el momento de cambiar la lámpara, se aproveche para cambiar el equipo auxiliar, o cuando se vaya a limpiar la luminaria, cambiar la lámpara.

### 3.8. CÁLCULO DE PENALIZACION POR NO CONFORMIDAD DECRETO 89, MTPS FIA, UES.

Con base a la ley general de prevención de riesgos laborales (Art. 77, Art. 82 y Art. 83) la infracción a pagar por no cumplir con los niveles de iluminación establecidos en estos locales se muestra en la Tabla 41.

El no cumplir con el nivel de iluminación según el Art. 77 está dentro de infracciones graves. Por lo tanto según el Art. 82, las infracciones graves se sancionaran con una multa de entre catorce a dieciocho salarios mínimos mensuales. También el Art. 83 establece que para tal sanción se consideraran el número de personas afectadas.

Local	Número Promedio de Personas Afectadas	Salario Mínimo	Multas Totales
Escuela de Ingeniería Eléctrica			
Laboratorio de Telemática	10	\$ 251.70	\$ 45,306.00
Cubículo del Ing. Cortez	1	\$ 251.70	\$ 4,530.60
Cubículo del Ing. Salvador	1	\$ 251.70	\$ 4,530.60
Cubículo del Ing. Marvin	1	\$ 251.70	\$ 4,530.60
Cubículo del Ing. Willber	1	\$ 251.70	\$ 4,530.60
Edificio D			
Salón de Clases D43	30	\$ 251.70	\$ 135,918.00
Escuela de Ingeniería Mecánica			
Laboratorio de Metalografía	20	\$ 251.70	\$ 90,612.00
Laboratorio de Tratamiento Térmico	20	\$ 251.70	\$ 90,612.00
Cubículo 8	1	\$ 251.70	\$ 4,530.60
Cubículo 11	1	\$ 251.70	\$ 4,530.60
Cubículo 12	1	\$ 251.70	\$ 4,530.60
Cubículo 13	1	\$ 251.70	\$ 4,530.60
Secretaría	1	\$ 251.70	\$ 4,530.60
Oficina del director	1	\$ 251.70	\$ 4,530.60
Escuela de Ingeniería en Sistemas			
Cubículos de Sistemas Sector 3	10	\$ 251.70	\$ 45,306.00
<b>Total de la infracción FIA, UES</b>	<b>100</b>		<b>\$ 453,060.00</b>

Tabla 41. Calculo de infracción de los locales de la FIA, UES, que no cumplen con los niveles de iluminación establecidos en las normas antes mencionadas.

Tomando como ejemplo el Laboratorio de Telemática tomando un número promedio de 10 personas dentro del laboratorio y una sanción de 18 salarios mínimos, la infracción a pagar es de  $10 \cdot 18 \cdot \$251.71 = \$ 45,306.00$ , de igual manera se obtienen las infracciones en los diferentes locales mostrados en la Tabla 41.

El total de locales laborales en la FIA, UES, es de 200 locales, por lo tanto el número de locales que no cumplen con el nivel de iluminación es de 15 los cuales se muestran en la Tabla 41, y representa el 7.5% del total, obteniendo una infracción de \$453.060,00.

#### 4. CONCLUSIONES

El nivel más bajo de iluminancia mediante el proceso de medición fue de 135lx en el laboratorio de metalografía en la Escuela de Ingeniería Mecánica, según los resultados obtenidos en DIALux, pudo constatar que: de las 6 luminarias instaladas en este local; tres luminarias están trabajando a un 23% y tres luminarias a un 40%, por lo tanto el tiempo de vida útil de las luminarias ha terminado y aún siguen operando. Esta es una de las principales características que se observan en la mayoría de locales que no cumplen con los mínimos niveles de iluminación normados por el REGLAMENTO GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO DE EL SALVADOR Decreto No 89, y la norma Europea de iluminación de interiores UNE EN 12464-1. Esto se debe principalmente a que el sistema de iluminación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura FIA, UES, no cuenta con un mantenimiento periódico, por lo tanto con el paso del tiempo la suciedad que se va depositando sobre las ventanas, luminarias y superficies que forman las salas, unido a la disminución de flujo luminoso que experimentan las lámparas a lo largo del tiempo, hace que el nivel inicial de iluminación que se disfrutaba en ellas, descienda sensiblemente haciendo de este sistema ineficiente energéticamente. Los valores iniciales de iluminancia pueden volver a alcanzarse limpiando las luminarias y cambiando las lámparas a intervalos convenientes.

Con los resultados obtenidos del análisis económico mostrados en la Tabla 39, se puede observar que el tiempo de recuperación de la inversión es de aproximadamente 10 años, obteniendo un VAN de \$4.484,28, con una inversión inicial total de \$ 5.850,964, relación beneficios costos de 1,66 y una tasa de retorno TIR de 16%. Por lo tanto es factible llevar a cabo el proyecto. Se recomienda hacer el cambio de tecnología de fluorescente a Led, ya que si solo son reemplazadas las lámparas fluorescentes, por otras nuevas de las mismas características no se recupera la inversión, y el tiempo de vida útil es de 20,000 horas (aproximadamente 9 años) y en cambio la vida útil de las lámparas Led es de 50,000 horas (aproximadamente 22 años), tomando como referencia 2,200 horas de encendido al año.

Es importante examinar la luz en el lugar de trabajo no sólo con criterios cuantitativos, sino también cualitativos. El primer paso es estudiar el puesto de trabajo, la precisión que requieren las tareas realizadas, la cantidad de trabajo, la movilidad del trabajador, edad y otras características consideradas en el presente estudio. Los resultados sobre las encuestas realizadas reflejan que el edificio peor evaluado es el de la Escuela de Ingeniería Mecánica ya que el 50% de los encuestados respondieron que ellos preferirían aumentar el nivel de iluminación y un 70% respondieron haber tenido síntomas mencionados como afecciones visuales (Visión borrosa, sensación de tener un velo delante de los ojos, vista cansada, pesadez en los párpados, Fatiga en los ojos). Los recintos del edificio de administración académica son los mejores evaluados obteniendo una aceptación del nivel de iluminación del 80% de los encuestados.

El no cumplir con el nivel de iluminación según el Art. 77 está dentro de infracciones graves. Por lo tanto según el Art. 82, las infracciones graves se sancionaran con una multa de entre catorce a dieciocho salarios mínimos mensuales. También el Art. 83 establece que para tal sanción se consideraran el número de personas afectadas. El total de locales laborales en la FIA, UES, es de 200 locales, y el número de locales que no cumplen con el nivel mínimo de iluminación es de 15, los cuales se muestran en la Tabla 41, y representa el 7.5% del total, obteniendo una infracción de \$453,060.00.

En el presente estudio se observa la importancia de contar con un programa de mantenimiento del sistema de iluminación de la FIA, UES. Para que este pueda ofrecer las mismas condiciones iniciales durante toda la vida útil de la instalación y conseguir que la duración de la instalación sea como mínimo igual o superior a la prevista. El programa de mantenimiento propuesto consta de un mantenimiento preventivo; donde el tipo de tareas a realizar consiste en el cambio masivo de lámparas, un poco antes de que lleguen al final de su vida útil, con el fin de reducir el número de operaciones puntuales que elevan el coste de mantenimiento y reduzcan la calidad del servicio, como también llevar acabo la limpieza de luminarias por lo menos una vez al año. El cambio de equipos auxiliares y la pintura de soporte de las luminarias y del local, también es una medida de mantenimiento preventivo que se debe tener en cuenta.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Empresa DIAL. Dial GmbH. [Online]. <http://www.dial.de/DIAL/es/empresa/dial.html>
- [2] C Hernandez. (2005) Fatiga Visual. [Online]. [http://www.borrmart.es/articulo\\_laboral.php?id=1517](http://www.borrmart.es/articulo_laboral.php?id=1517)
- [3] A. Hernandez. (2008) Pantallas de Visualización de Datos: condiciones de iluminación. Parte 1. [Online]. <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=2364>
- [4] M. González, *Ergonomía y psicología*, 4th ed. Madrid, España: FC Editorial, 2007.
- [5] González Ó., Gómez M., Gregor E. Mondelo P., *Ergonomía 4: El trabajo en oficinas.*, Edition illustrated ed.: Ediciones UPC, 2001.
- [6] A. Pena. (2008) Fatiga Visual. [Online]. <http://www.kaosenlared.net/noticia/fatiga-visual>
- [7] Wikipedia.
- [8] DeConceptos. (2008, Noviembre) DeConceptos.com. [Online]. <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/luz>
- [9] Artinaid. (2013, Abril) artinaid. [Online]. <http://www.artinaid.com/en/2013/04/que-es-la-luz-o-el-electromagnetismo/>
- [10] Amparo Berenice Calvillo Cortés, "Luz y Emociones: Estudio sobre La Influencia de la Iluminación Urbana en las Emociones; tomando como base el Diseño Emocional", Barcelona, 2010.
- [11] Aula Clic. (2012, Septiembre) www.aulaclic.es. [Online]. [http://www.aulaclic.es/fotografia-photoshop/t\\_10\\_19.htm](http://www.aulaclic.es/fotografia-photoshop/t_10_19.htm)
- [12] E-centro. (2012) E-centro. [Online]. [http://centrodeartigo.com/articulos-noticias-consejos/article\\_138922.html](http://centrodeartigo.com/articulos-noticias-consejos/article_138922.html)
- [13] J.A. Taboada, "Manual de luminotecnia," in *Manual de luminotecnia.*: dossat, s.a., 1983.
- [14] (2013, Abril) Youtube. [Online]. <https://www.youtube.com/watch?v=lvxFRJcWZbQ>
- [15] Sirlin. (2005) Herramientas de la luz. [Online]. <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/Id/Pesquisa/Eli%20Sirlin/Eli%20Sirlin%20-%20Herramientas%20de%20la%20Luz.pdf>
- [16] Academia Testo. La curva de sensibilidad del ojo humano. [Online].

<http://www.academiatesto.com.ar/cms/?q=la-curva-de-sensibilidad-del-ojo>

- [17] OIT. (2009, Septiembre de) Enciclopedia de la OIT: Capitulo 46. Iluminacion. [Online].  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/46.pdf>
- [18] Ministerio de Trabajo de El Salvador. Decreto N°. 89. [Online].  
<http://www.jurisprudencia.gob.sv/DocumentosBoveda/D/2/2010-2019/2012/04/96988.PDF>
- [19] Instituto Para la Diversificacion Y Ahorro de Energia. Ministerio de Ciencia y Tecnologia, de España. [Online].  
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_5573\\_GT\\_iluminacion\\_centros\\_docentes\\_01\\_6803da23.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5573_GT_iluminacion_centros_docentes_01_6803da23.pdf)
- [20] PHILLIPS.Codigo Tecnico de la edificacion y Otras Normas Relacionadas con el Alumbrado. [Online].  
[http://www.lighting.philips.com/pwc\\_li/es\\_es/connect/tools\\_literature/assets/pdfs/Codigo\\_Tecnico\\_de\\_la\\_Edificacion.pdf](http://www.lighting.philips.com/pwc_li/es_es/connect/tools_literature/assets/pdfs/Codigo_Tecnico_de_la_Edificacion.pdf)
- [21] Escuela Colombiana de Ingenieria, "Iluminacion Protocolo," Colombia, 2009.
- [22] Rafael Florensa. (2010, Marzo de ) Luz y Emociones. [Online].  
<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6138/TABCC1de1.pdf>
- [23] Carlos Fernández Peña Acuña. (2003, Diciembre) Monografias. [Online].  
<http://www.monografias.com/trabajos5/natlu/natlu.shtml>
- [24] Donald H Jacobs, *Fundamentals of optical engineering.*: McGraw-Hill, 1943.
- [25] Ministerio de Trabajo y Seguridad social. Reglamento Tecnico para Exposicion a Iluminacion y Brillo. [Online]. <http://es.scribd.com/doc/53264466/RT-ILUMINACION>
- [26] Stargazer. (2011, Noviembre) Stargazer. [Online].  
<http://dotorqantico.wordpress.com/2011/11/30/que-es-la-mecanica-cuantica-una-historia-de-la-luz/>

## 6. ANEXOS

### 6.1. Muestreo

El muestreo es una herramienta de la investigación científica, cuya función básica es determinar que parte de una población debe examinarse, con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población.

La muestra debe lograr una representación adecuada de la población, en la que se reproduzca de la mejor manera los rasgos esenciales de dicha población que son importantes para la investigación. Para que una muestra sea representativa, y por lo tanto útil, debe de reflejar las similitudes y diferencias encontradas en la población, es decir ejemplificar las características de ésta.

Los errores más comunes que se pueden cometer son:

1. Error de muestreo, Hacer conclusiones muy generales a partir de la observación de sólo una parte de la Población, se denomina.
2. Error de Inferencia, Hacer conclusiones hacia una Población mucho más grandes de la que originalmente se tomó la muestra.

#### I. Métodos de muestreo no probabilísticos

A veces, para estudios exploratorios, el muestreo probabilístico resulta excesivamente costoso y se acude a métodos no probabilísticos, aun siendo conscientes de que no sirven para realizar generalizaciones (estimaciones inferenciales sobre la población), pues no se tiene certeza de que la muestra extraída sea representativa, ya que no todos los sujetos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos. En general se seleccionan a los sujetos siguiendo determinados criterios procurando, en la medida de lo posible, que la muestra sea representativa.

En algunas circunstancias los métodos estadísticos y epidemiológicos permiten resolver los problemas de representatividad aun en situaciones de muestreo no probabilístico, por ejemplo los estudios de caso-control, donde los casos no son seleccionados aleatoriamente de la población.

Entre los métodos de muestreo no probabilísticos más utilizados en investigación encontramos:

##### a) Muestreo por cuotas:

También denominado en ocasiones "accidental". Se asienta generalmente sobre la base de un buen conocimiento de los estratos de la población y/o de los individuos más "representativos" o "adecuados" para los fines de la investigación. Mantiene, por tanto, semejanzas con el muestreo aleatorio estratificado, pero no tiene el carácter de aleatoriedad de aquél.

En este tipo de muestreo se fijan unas "cuotas" que consisten en un número de individuos que reúnen unas determinadas condiciones, por ejemplo: 20 individuos de 25 a 40 años, de sexo femenino y residentes en Gijón. Una vez determinada la cuota se eligen los primeros que se encuentren que cumplan esas características. Este método se utiliza mucho en las encuestas de opinión.

b) Muestreo intencional o de conveniencia:

Este tipo de muestreo se caracteriza por un esfuerzo deliberado de obtener muestras "representativas" mediante la inclusión en la muestra de grupos supuestamente típicos. Es muy frecuente su utilización en sondeos preelectorales de zonas que en anteriores votaciones han marcado tendencias de voto.

También puede ser que el investigador seleccione directa e intencionadamente los individuos de la población. El caso más frecuente de este procedimiento es el utilizar como muestra los individuos a los que se tiene fácil acceso (los profesores de universidad emplean con mucha frecuencia a sus propios alumnos).

c) Bola de nieve:

Se localiza a algunos individuos, los cuales conducen a otros, y estos a otros, y así hasta conseguir una muestra suficiente. Este tipo se emplea muy frecuentemente cuando se hacen estudios con poblaciones "marginales", delincuentes, sectas, determinados tipos de enfermos, etc.

d) Muestreo Discrecional · A criterio del investigador los elementos son elegidos sobre lo que él cree que pueden aportar al estudio.

Variables de las que depende el tamaño de la muestra

Suponiendo que la muestra es la adecuada, el tamaño necesario de la muestra para poder extrapolar los resultados a la población depende básicamente de tres variables. El por qué estas variables inciden en el tamaño de la muestra es fácil comprenderlo de manera intuitiva, al margen de la traducción de estas variables a valores estadísticos.

1º El nivel de confianza o riesgo que aceptamos de equivocarnos al presentar nuestros resultados: lo que deseamos es que en otras muestras semejantes los resultados sean los mismos o muy parecidos. También podemos denominarlo grado o nivel de seguridad. El nivel de confianza va a entrar en la fórmula para determinar el número de sujetos con un valor de zeta, que en la distribución normal está asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia.

2º La varianza (o diversidad de opiniones...) estimada en la población. Esta diversidad en la población es la diversidad estimada; si la conociéramos (cuántos van a decir que sí y cuántos van a decir que no) en primer lugar no necesitaríamos hacer la encuesta.

3º El margen de error que estamos dispuestos a aceptar.

Vamos a distinguir entre poblaciones infinitas (de tamaño muy grande, indefinido, cuyo tamaño exacto podemos desconocer) y poblaciones finitas (tamaño más reducido y que conocemos).

Fórmula para determinar el tamaño de la muestra para una población finita

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2pq}}$$

Ecuación 12. Fórmula para obtener muestra.

Dónde:

n= Tamaño de la muestra que deseamos conocer.

N= Tamaño conocido de la población.

pq = Varianza de la población.

z= Valor de confianza.

e = error de muestra.

Cálculo de muestras

Para determinar el número de muestras que serán necesarias para nuestra investigación, primero es necesario definir como se clasificarán las poblaciones.

Se formaran dos grandes poblaciones a estudiar, la primera será “docentes y trabajadores” esta población permitirá ver la percepción del sistema de iluminación de las áreas de trabajo, tales como laboratorios oficinas y cubículos, para una mejor organización y lectura de datos esta población será subdividida en el número de escuelas que posee la facultad, por lo cual será necesario obtener una muestra para cada sub población.

La segunda población será “estudiantes” esta población nos permitirá obtener la percepción que tienen los estudiantes sobre el sistema de iluminación.

Ahora con las poblaciones ya definidas pasamos a determinar las demás variables de la fórmula:

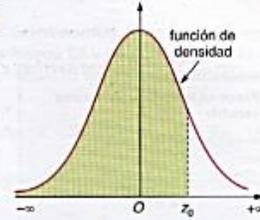
La varianza en los ítems dicotómicos (dos respuestas que se excluyen mutuamente) es igual a pq y la varianza mayor (la mayor diversidad de respuestas) se da cuando p = q = .50 (la mitad de los sujetos responde sí y la otra mitad responde no) por lo que en esta Ecuación 12 pq es siempre igual a (.50)(.50) = .25. Este valor de pq (= .25) es válido (válido para calcular el tamaño de la muestra) aun cuando las preguntas no sean dicotómicas.

El Error muestral significa error o desviación posible cuando extrapolemos los resultados. Es el margen de error que aceptamos. Para nuestro caso utilizaremos el valor de 10%. Utilizaremos un valor o intervalo de confianza comúnmente utilizado será del 95%.

El intervalo de confianza nos ayudará a obtener el valor de z de la Ecuación 12, para ello haremos uso de la tabla de distribución normal.

**TABLA DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL  $N(0, 1)$**

$$P(Z \leq z_0) = \left\{ \begin{array}{l} \text{área del recinto} \\ \text{coloreado} \end{array} \right\}$$



$z_0$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9646	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998
3.6	.9998	.9998	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999

Ilustración 78. Tabla de Distribución Normal.

Calculo de Z

$$z = 1 - \alpha$$

$$0.95 = 1 - \alpha \quad \alpha = 0.05$$

$$\alpha/2 = 0.025$$

$$z_{\alpha/2} = z_{0.025}$$

$$P(Z \leq z_{0.025}) = 0.975(1 - \alpha/2)$$

$$z(0.975) = 1.96$$



# Understanding IES LM-79 & IES LM-80

Eric Richman  
Pacific Northwest National Laboratory

*LightFair Exhibit*  
*May 5-7, 2009*



## Absolute Photometry Basis

- LM-79 requires complete luminaire testing
- Traditionally, photometric evaluation of lighting products is based on separate tests for lamps and luminaires (“relative”)
- For SSL products, LED lamps typically *cannot* be separated from their luminaire because of heat effects (“absolut





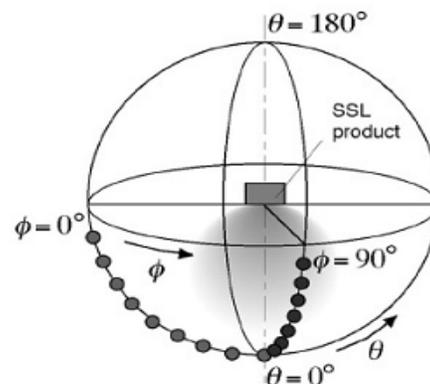
- Ambient conditions
  - Temperature – maintain at 25C +/-1C (within 1m)
  - Mounting – limit thermal transfer
  - Air flow - limited
- Power Supply characteristics
  - AC waveshape limit to harmonic RMS of 3%
  - Voltage regulation to +/- 2%
- Seasoning and stabilization
- Testing orientation
- Electrical settings
- Instrumentation



# Goniophotometer System

For measuring luminous Intensity Distribution

- Total Luminous Flux is derived
- Provides color characteristics with Spectral radiometer including CCT, CRI





## IES LM-80

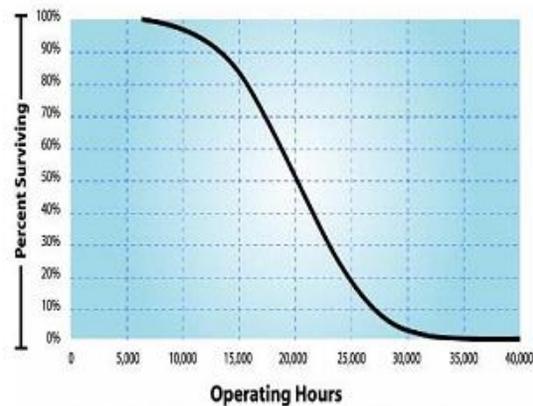
### “Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources”

- Approved method for measuring lumen depreciation of solid-state (LED) light sources, arrays and modules
- Does not cover measurement of luminaires.
- Does not define or provide methods for estimation of life.



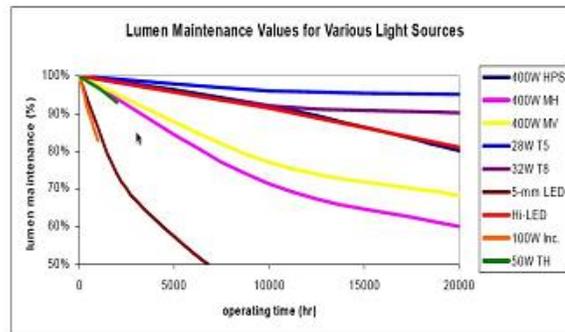
## What is “Life” for Lighting?

- “Operational failure”
  - Most light sources “burn out” (End of “Life”)
  - Lamp life is typically rated at 50% failure rate
  - **LEDs typically don’t fail** (no filament to “burn”)





- Useful light output (Lumen Maintenance)
  - All light sources degrade but most just “burn out” before serious loss of light output
  - LEDs continue to degrade – eventually beyond useful light output



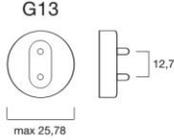
Source: Lighting Research Center - Rea 2000; Bullough 2003



- Ambient conditions and setup
  - Case Temperature measured and maintained
  - Case Temperature measurement point
  - Airflow minimized
  - Operating orientation & spacing per manufacturer
- Electrical
  - Voltage and Current (AC or DC levels)
  - Voltage waveshape (harmonic distortion <3%)
  - Current Regulation
- Instrumentation

### 6.3. Hojas Técnicas de Lámparas Instaladas en la FIA, UES.

#### T8 Ocron



	A max	B min	B max	C max	D nom
32W	1199.4	1204.1	1206.5	1213.6	26







- T8 fluorescent lamps for the exclusive use with an Ocron ballast
- Maximum energy efficiency
- High colour rendering: Ra85/Class 1B
- High light output
- High lamp lumen maintenance factor



Code	Description	Nominal Lamp			Cap to Cap Lamp Length	CRI Group	Cap	Colour Temp	Luminous Flux	Packing Qty
		Watt	Volt	Current						
<b>T8 Ocron Daylight (54-765)</b>										
0002336	F032W/65K 54-765	32W	135V	0.265A	1200mm	2A	G13	6500K	2100 lm	25
<b>T8 Ocron Warm White De Luxe (830)</b>										
0001700	F032W/31K 830	32W	135V	0.265A	1200mm	1B	G13	3100K	2900 lm	25
<b>T8 Ocron Cool White De Luxe (840)</b>										
0001701	F032W/41K 840	32W	135V	0.265A	1200mm	1B	G13	4100K	2900 lm	25
<b>T8 Ocron Daylight White De Luxe (865)</b>										
0001703	F032W/65K 865	32W	135V	0.265A	1200mm	1B	G13	6500K	2600 lm	25

[www.sylvania-lamps.com](http://www.sylvania-lamps.com)

**SYLVANIA**

5

FLUORESCENT TUBES

T8

115



## High CRI T12

F40T12 DX ALTO

Philips T12 High CRI Lamps are energy-efficient lighting solutions and provide excellent color consistency over the life of the lamp.

### Product data

#### • General Characteristics

Base	Medium Bi-Pin [Medium Bi-Pin Fluorescent]
Base Information	Green Base
Bulb	T12
Rated Avg. Life [3 hr Start]	20000 hr
Energy Saving	Not Applicable
Life with 3h/day use [years]	7 an

#### • Light Technical Characteristics

Color Code	57
Color Rendering Index	90 Ra8
Color Designation	Daylight Deluxe
Color Temperature	6500 K
Initial lumen	2325 Lm
Design Mean Lumens	2025 Lm

#### • Electrical Characteristics

Watts	40 W
-------	------

#### • Environmental Characteristics

Mercury (Hg) Content	4.4 mg
----------------------	--------

#### • Product Dimensions

Nominal Length [inch]	48
-----------------------	----

#### • Product Data

Product number	273599
Full product name	F40T12 DX ALTO
Short product name	F40T12 DX ALTO/30
Pieces per Sku	1
eop_pck_cfg	30
Skus/Case	30
Bar code on pack	46677273590
Bar code on case	50046677273595
Logistics code(s)	927888005709
eop_net_weight_pp	0.001 kg

# PHILIPS



## Luminarios tipo Industrial para Usos Generales

### Uso recomendado

Para montaje de alturas de hasta 20 pies que requieran un nivel de iluminación de bajo a medio. Ideal para iluminar pasillos, almacenes y tiendas de autoservicio.

### Características

Reflector troquelado con opción de cubierta sólida, 5% de luz superior. Canaleta de calibre premium con diseño para soporte a través de uñas para mayor fuerza y rigidez. Canaleta extra ancha y reflector en luminarios de 3 y 4 luces. Cubierta de canal y reflector asegurados por pestillos de cuarto de vuelta para fácil acceso al canal de alambres. Cabeceras para enroscar. Disponible en longitudes de cableado en tandem. Acepta opciones para conectar circuitos primarios 1, 2 ó 3. Acabado en barniz de alta reflectancia pintado después de fabricación.

(Acabados opcionales disponibles) de alambres. Balastro - protegido térmicamente, autoreseteable, clase P, AFP, no PCB, Listado UL. La clasificación por sonido depende de la combinación de lámpara/balastro.

Cableado y componentes eléctricos - se utilizan cables AWM, TFN y TN en todo el luminario, clasificados para las temperaturas requeridas.

Montaje - individual o en tiras continuas, sobrepuesto o suspendido.

Certificaciones - Listado UL (estándar). Certificado NOM (ver opciones). Adecuado para lugares húmedos.

Para conocer los detalles y presentación del producto, consulte el catálogo en línea en [www.lithonia.com](http://www.lithonia.com)

## Luminarios tipo Industrial

# EJ EJA



Ejemplo: EJ 2 40 120 ES

### Número de Catálogo

Serie	Cantidad de Lámparas	Tipo de Lámpara				Opciones
EJ Reflector cerrado		17 17W T8 (24")	36HO 45W T12 800mA (36")	72 55W Slimline (72")		
EJA 5% más de luz superior	1	20 20W T12 (24")	40 40W T12 (48")	72HO 85W T12 800mA (72")	<b>NOM</b> Certificado Para opciones y accesorios adicionales ver abajo y la página 65.	
2EJ 2 lámparas en cuerpo ancho	2	24 30W Slimline (24")	48 38W Slimline (48")	96 75W Slimline (96")		
	3	25 25W T8 (36")	48HO 60W T12 800mA (48")	96HO 110W T12 800mA (96")		
	4	24HO 35W T12 800mA (24")	48T8HO 44W T8 (48")	96PG 215W 1500mA (96")		
2EJA 2 lámparas en cuerpo ancho con aberturas	No incluidas	28T5 28W T5 (46")	48PG 110W 1500mA (48")	96T8 59W T8 Slimline (96")	<b>Voltaje</b> 120 277 MVOLT <sup>1</sup> Otros voltajes disponibles	
		32 32W T8 (48")	54T5HO 54W T5 HO (46")	96T8HO 86W T8 380mA (96")		
		36 30W Slimline (36")				

Para unidades en tandem (doble largo) agregue el prefijo T Ejemplo: TEJ

#### NOTAS:

1 El balastro multivoltaje opera en cualquier rango de voltaje de entrada entre 120V-277V incluso a 50 Hz o 60Hz. Disponible como opción en la categoría GEB101S para 1-4 lámparas T8 de hasta 48" de longitud únicamente.

2 Para conocer los detalles de montaje consulte las hojas de especificación de los productos.

3 La unidad de 4 lámparas tipo PG no está disponible.

### Disponibilidad y dimensiones

Serie	Lámparas Lámparas por sección por cada transversal luminario		Tipo de lámpara	Ancho Pulg.(cm.) <sup>2</sup>	Profundidad Pulg.(cm.) <sup>2</sup>	Largo Pulg.(cm.) <sup>2</sup>
	1, 2	1, 2				
EJ, EJA	1, 2	1, 2	17, 20, 24, 24HO	12 (30.5)	5/4 (13.3)	24 (69.9)
	3, 4	3, 4	17, 20, 24	16 (40.6)	5/4 (13.3)	24 (69.9)
2EJ, 2EJA	1, 2	1, 2	17, 20PH, 24, 24HO	16 (40.6)	5/4 (13.3)	24 (69.9)
EJ, EJA	1, 2	1, 2	25, 36, 36HO	12 (30.5)	5/4 (13.3)	36 (91.4)
	3, 4	3, 4		16 (40.6)	5/4 (13.3)	36 (91.4)
2EJ, 2EJA	1, 2	1, 2	25, 36, 36HO	16 (40.6)	5/4 (13.3)	36 (91.4)
EJ, EJA	1, 2	1, 2	32, 40, 48, 48HO, 48T8HO, 48PG <sup>3</sup> , 28T5, 54T5HO	12 (30.5)	5/4 (13.3)	48 (121.9)
	3, 4	3, 4	32, 40, 48, 48HO, 48PG <sup>3</sup> , 28T5, 54T5HO	16 (40.6)	5/4 (13.3)	48 (121.9)
2EJ, 2EJA	2	2	32, 40, 48, 48HO, 48PG <sup>3</sup>	16 (40.6)	5/4 (13.3)	48 (121.9)
EJ, EJA	1, 2	1, 2	72, 72HO	12 (30.5)	5/4 (13.3)	72 (182.9)
	3, 4	3, 4		16 (40.6)	5/4 (13.3)	72 (182.9)
2EJ, 2EJA	1, 2	1, 2	72, 72HO	16 (40.6)	5/4 (13.3)	72 (182.9)
TEJ, TEJA	1, 2	2, 4	32, 40, 48, 48HO, 48T8HO, 48PG <sup>3</sup>	12 (30.5)	5/4 (13.3)	96 (243.8)
	3, 4	6, 8	32, 40, 48, 48HO, 48PG <sup>3</sup>	16 (40.6)	5/4 (13.3)	96 (243.8)
T2EJ, T2EJA	2	4	32, 40, 48, 48HO, 48PG <sup>3</sup>	16 (40.6)	5/4 (13.3)	96 (243.8)
EJ, EJA	1, 2	1, 2	96, 96T8, 96HO, 96T8HO, 96PG <sup>3</sup>	12 (30.5)	5/4 (13.3)	96 (243.8)
	3, 4	3, 4	96, 96T8, 96HO, 96T8HO, 96PG <sup>3</sup>	16 (40.6)	5/4 (13.3)	96 (243.8)
2EJ, 2EJA	2	2	96, 96T8, 96HO, 96T8HO, 96PG <sup>3</sup>	16 (40.6)	5/4 (13.3)	96 (243.8)

### OPCIONES PARA ORDENAR/ DE EMBALAJE - Existen 2 alternativas para ordenar y empacar los productos.

#### 1.- Embalaje estándar\*

El luminario se embarca en cartones individuales. Para ordenar, utilice el número de catálogo *master*, como se muestra:

Ordenado: (Cantidad 21) EJ 2 40 120 ES  
Embarcado como: (21) EJ 2 40 120 ES -carcasa y reflector

#### 2.- Embalaje para envío directo a obra\*

El luminario se embarca con carcassas y reflectores de forma separada en paquetes de cuatro. Para ordenar, utilice el número de catálogo *master* como se muestra:

Ordenado: (Cantidad 21) EJ 2 40 120 ES J4

Embarcado como: (20) EJC 2 40 120 ES J4 - carcasa  
(20) EJR40 J4 - reflector  
(1) EJ 2 40 120 ES - carcasa y reflector

Carga de luminarios en tarimas con envío directo a obra sin cartones individuales, disponible. Agregue JP al número de catálogo de la base para esta opción. Contacte su representante de Ventas de Lithonia Lighting para luminarios por número de la tarima.

Los dibujos son para detalles de dimensión únicamente. Pueden no representar la configuración mecánica actual. Las dimensiones se muestran en pulgadas (centímetros).



**LITHONIA LIGHTING**

Iluminación Fluorescente

57

## 6.4. Hoja Técnica de Lámpara Led de 18W.



# New Type LED CT8 Tube

C-Tube is an upgraded version CFL tube replacement with LED. It has the best configuration of brightness and power efficiency.

C-tube™ is designed to replace medium bi-pin T8 and T12 fluorescent tubes. C-tube™ fits directly into most fluorescent fixtures providing a simple upgrade to high quality LED lighting. C-tube™ is optimized to provide light outputs comparable to fluorescent and delivers the immediate benefits of white-LED lighting; long lifetimes, no maintenance, high efficiency, no mercury, no recycling, no flickering, no buzzing, instant start, cold temperature operation, and high quality light. It provides energy savings of up to 75% over fluorescent applications that require long hours with low occupancy rates such as stairwells, corridors, warehouses, and remote locations. The high quality C-tube™ replacement tube is constructed from extruded aluminum to provide a virtually unbreakable, vandal proof lighting solution.

### Why our C-tube™?

- Much longer life than CFL tube: min. 10 years (suppose that light is on 8 hours per day)
- 70%~80% Energy-saving over Fluorescent tubes
- Solid State, high shock/vibration resistant
- Work without ballast, Instant soft-start
- No RF interference, No flickering or buzzing
- Quick and easy installation to minimize retrofit costs
- Minimum maintenance costs, Produce little Heat
- No Mercury and other hazardous materials, fully RoHS-compliant
- Continuous operation for white LEDs (10 years for other colors)
- Rated to operate from -4°F to 104°F [-20°C to 40°C], perfect for environments with extreme climates
- Epistar+Intermatix LED packaging solution, no patent trouble
- The newest design
- The best cost-effective
- Complete electricity isolation design, safety prov

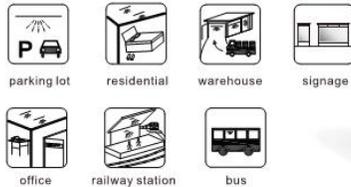


### Technical Parameters

- Standard length 60cm, 120cm and 150cm.
- Rated input voltage 100-305V AC, 50/60Hz
- PF (power factor) >0.9
- 12V/24V DC available.
- Light efficiency > 95 lm/W (clear and wave cover)



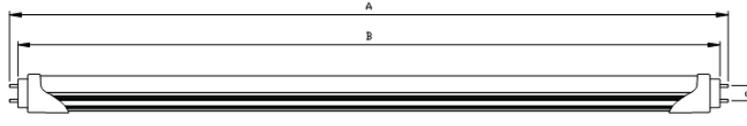
### Applications



[www.greentekca.com](http://www.greentekca.com)

Calle del Mirador #5121, Colonia Escalon, San Salvador, El Salvador.  
Tel: (503) 2550 3000, 2264 7038 info@greentekca.com Camley S.A. de C.V.

**Dimensions** (Unit: mm/inch)



A: 0.6M=603mm/23.7' 1.2M=1213mm/47.7' 1.5M=1513mm/59.5'  
 B: 0.6M=588mm/23.2' 1.2M=1198mm/47.2' 1.5M=1498mm/59.0'  
 C: 12.7mm/0.5"

**Specifications**

Type	Model number	LED Type	Color	voltage	Length (cm)	CRI	Power (W)	Light output (lm±5%)	LED Q'ty	PF
Frosted	CT8-009-AW-WW-02F	SMD 2835	Warm White	AC100-305V	60	>80	9	895	52	≥0.92
	CT8-009-AW-NW-01F		Natural white					970		
	CT8-009-AW-W-01F		White					1004		
	CT8-018-AW-WW-02F		Warm White		120	>80	18	1521		
	CT8-018-AW-NW-02F		Natural white					1702		
	CT8-018-AW-W-02F		White					1720		
CT8-022-AW-WW-02F	Warm White	150	>80	22	2017					
CT8-022-AW-NW-02C	Natural white				2132					
CT8-022-AW-W-02F	White				2249					
Clear	CT8-009-AW-WW-01C	SMD 2835	Warm White	AC100-305V	60	>80	9	975	52	≥0.92
	CT8-009-AW-NW-01C		Natural white					1073		
	CT8-009-AW-W-02C		White					1114		
	CT8-018-AW-WW-01C		Warm White		120	>80	18	1667		
	CT8-018-AW-NW-01C		Natural white					1897		
	CT8-018-AW-W-01C		White					1911		
	CT8-022-AW-WW-01C		Warm White		150	>80	22	2249		
	CT8-022-AW-NW-01C		Natural white					2407		
	CT8-022-AW-W-01C		White					2529		

**22W Warm White(frosted )**

LUMINAIRE PHOTOMETRIC TEST REPORT

