



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DE ILUMINACIÓN MEDIANTE LA MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS  
ANTIGUAS HACIA LÁMPARAS CFL AHORRADORAS DE ENERGÍA, APLICANDO LA NORMA DIN  
5035 EN LA ESCUELA NORMAL INTERCULTURAL DE AMATITLÁN**

**Werner Tomás González Urzúa**

Asesorado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez

Guatemala, septiembre de 2012



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DE ILUMINACIÓN MEDIANTE LA MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS  
ANTIGUAS HACIA LÁMPARAS CFL AHORRADORAS DE ENERGÍA, APLICANDO LA NORMA DIN  
5035 EN LA ESCUELA NORMAL INTERCULTURAL DE AMATITLÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**WERNER TOMÁS GONZÁLEZ URZÚA**

ASESORADO POR EL ING. NATANAEL JONATHAN REQUENA GÓMEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Saúl Cabezas Durán
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Fernando Waldemar de León Contreras
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DE ILUMINACIÓN MEDIANTE LA MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS ANTIGUAS HACIA LÁMPARAS CFL AHORRADORAS DE ENERGÍA, APLICANDO LA NORMA DIN 5035 EN LA ESCUELA NORMAL INTERCULTURAL DE AMATITLÁN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha de octubre de 2010.

**Werner Tomas González Urzúa**







Guatemala, 08 de mayo de 2012.  
Ref.EPS.DOC.633.05.12.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

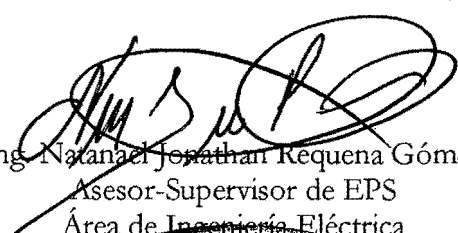
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Werner Tomas González Urzúa** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **3016254**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DE ILUMINACIÓN MEDIANTE LA MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS ANTIGUAS HACIA LÁMPARAS CFL AHORRADORAS DE ENERGÍA, APLICANDO LA NORMA DIN 5035 EN LA ESCUELA NORMAL INTERCULTURAL DE AMATITLÁN"**.

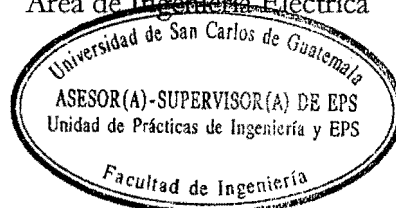
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Nathaniel Jonathan Requena Gómez  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo  
NJRG/ra





Guatemala, 08 de mayo de 2012.  
Ref.EPS.D.457.05.12.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Puente Romero.

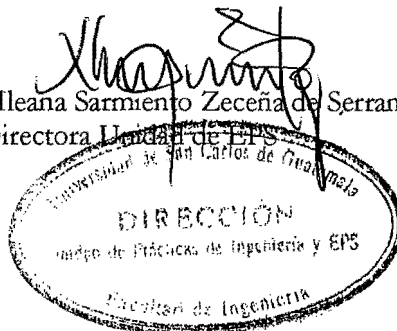
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DE ILUMINACIÓN MEDIANTE LA MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS ANTIGUAS HACIA LÁMPARAS CFL AHORRADORAS DE ENERGÍA, APLICANDO LA NORMA DIN 5035 EN LA ESCUELA NORMAL INTERCULTURAL DE AMATITLÁN"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Werner Tomas González Urzúa**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra





Ref. EIME 21. 2012  
Guatemala, 11 de MAYO 2012.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

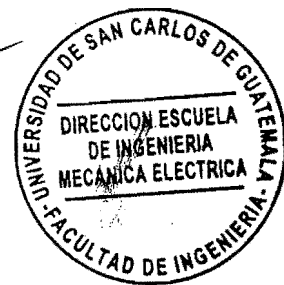
Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
"MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DE ILUMINACIÓN  
MEDIANTE LA MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS ANTIGUAS  
HACIA LÁMPARAS CFL AHORRADORAS DE ENERGÍA,  
APLICANDO LA NORMA DIN 5035 EN LA ESCUELA NORMAL  
INTERCULTURAL DE AMATITLÁN", del estudiante Werner  
Tomás González Urzúa, que cumple con los requisitos establecidos  
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Romeo Neftali Lopez Orozco  
Coordinador de Electrotécnica

RNLO/sro







REF. EIME 47.2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; WERNER TOMÁS GONZÁLEZ URZÚA titulado: "MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DE ILUMINACIÓN MEDIANTE LA MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS ANTIGUAS HACIA LÁMPARAS CFL AHORRADORAS DE ENERGÍA, APLICANDO LA NORMA DIN 5035 EN LA ESCUELA NORMAL INTERCULTURAL DE AMATITILÁN", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 11 DE SEPTIEMBRE 2012.







El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DE ILUMINACIÓN MEDIANTE LA MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS ANTIGUAS HACIA LÁMPARAS CFL AHORRADORAS DE ENERGÍA, APLICANDO LA NORMA DIN 5035 EN LA ESCUELA NORMAL INTERCULTURAL DE AMATITLÁN**, presentado por el estudiante universitario Werner Tomás González Urzúa, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Gympo Paiz Reinos  
Decano



Guatemala, Septiembre de 2012

/cc



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La vida</b>	Porque desde el momento que nací, he gozado de mucho aprendizaje y de una vida llena de dicha y plenitud.
<b>Dios</b>	Por ser el creador de mi vida y guía inseparable.
<b>Mis padres</b>	Blanca Estela Urzúa y Tomás González, por ser los ejemplos más claros de amor y valores a seguir durante toda mi existencia.
<b>Mis hermanas</b>	María Teresa, Rosita Cecilia y María Fernanda, por ser esa compañía inseparable en toda mi vida.
<b>Mis amigos y amigas</b>	Presentes y los que ya partieron, por haber estado siempre en las buenas y en las malas apoyándome y aconsejándome de manera incondicional.
<b>Mi novia</b>	Alma Valdez, por ser mi compañera de muchos años de universidad y por ser un claro ejemplo de amor y perseverancia ante las adversidades de la vida.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XIX
OBJETIVOS .....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. LA NORMA DIN 5035 CON LAS DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN Y SU DESARROLLO .....	1
1.1. Las Normas DIN .....	1
1.2. La Norma DIN 5035 y su desarrollo.....	1
1.3. La Norma DIN EN 12464-1 .....	3
1.3.1. Objeto y campo de aplicación .....	4
1.3.2. Normas para consulta .....	5
1.4. Términos y definiciones .....	6
1.4.1. Tarea visual .....	6
1.4.2. Área de tarea .....	6
1.4.3. Área circundante inmediata .....	6
1.4.4. Iluminancia mantenida ( $E_m$ ) .....	7
1.4.5. Ángulo de apantallamiento .....	7
1.4.6. Equipo con Pantalla de Visualización (EPV).....	7
1.4.7. Uniformidad de iluminancia.....	7
1.5. Criterios de diseño de iluminación .....	7
1.5.1. Ambiente luminoso .....	8
1.5.2. Distribución de luminancias .....	9

1.5.3.	Iluminancia .....	10
1.5.3.1.	Iluminancias recomendadas en área de la tarea .....	10
1.5.3.2.	Iluminancias de áreas circundantes inmediatas.....	11
1.5.3.3.	Uniformidad.....	12
1.5.4.	Deslumbramiento .....	13
1.5.4.1.	Deslumbramiento molesto .....	14
1.5.4.2.	Apantallamiento contra el deslumbramiento.....	15
1.5.4.3.	Deslumbramiento reflejado .....	16
1.5.5.	Iluminación direccional .....	16
1.5.5.1.	Modelado .....	16
1.5.5.2.	Iluminación direccional de tareas visuales .....	17
1.5.6.	Aspectos de color .....	17
1.5.6.1.	Apariencia de color .....	17
1.5.6.2.	Rendimiento de colores .....	18
1.5.7.	<i>Flicker</i> y efectos estroboscópicos.....	19
1.5.8.	Factor de mantenimiento.....	19
1.5.9.	Consideraciones sobre la energía.....	20
1.6.	Luz natural.....	20
1.7.	Iluminación de puestos de trabajo con Equipos con Pantalla de Visualización (EPV) incluidas Unidades de Presentación Visual (UPV).....	21
1.7.1.	Generalidades .....	21
1.8.	Composición de la tabla V.....	22

2.	ANÁLISIS FOTOMÉTRICO Y ECONÓMICO DE DISTINTAS LUMINARIAS .....	27
2.1.	Longitud de onda de las radiaciones luminosas .....	27
2.2.	Fundamentos básicos de iluminación .....	30
2.2.1.	Luz y radiación.....	30
2.2.2.	Flujo luminoso y rendimiento luminoso .....	31
2.2.3.	Intensidad luminosa .....	31
2.2.4.	Iluminancia (E) .....	32
2.2.5.	Luminancia (L) .....	32
2.2.6.	Índice de reproducción cromática (IRC o Ra) .....	32
2.2.7.	Temperatura de color.....	34
2.2.8.	Ángulo de media proyección.....	35
2.3.	Diagrama de curvas polares .....	36
2.4.	Factores de utilización y cálculo de luminarias .....	37
2.5.	Lámparas CFL.....	40
2.6.	Partes de una lámpara compacta fluorescente CFL.....	41
2.6.1.	El tubo fluorescente .....	42
2.7.	Funcionamiento de lámparas fluorescentes compactas CFL.....	43
2.8.	Características de lámparas fluorescentes compactas CFL.....	47
2.9.	Principales datos a tomar en cuenta al adquirir lámparas fluorescentes compactas CFL .....	49
2.9.1.	Marcas de lámparas fluorescentes compactas CFL.....	50
2.9.2.	Tipos de lámparas fluorescentes compactas CFL.....	50
2.9.3.	Precios de lámparas fluorescentes compactas CFL.....	51

2.9.4.	Elección de la lámpara fluorescente compacta adecuada.....	59
3.	DESARROLLO DEL PROYECTO DE ILUMINACIÓN EN EL CAMPO .....	63
3.1.	La Escuela Normal Intercultural de Amatitlán.....	63
3.2.	Cálculo del presupuesto.....	66
3.3.	Trabajos realizados en cuarto magisterio.....	67
3.3.1.	Resultados obtenidos utilizando DIALux versión 4,8.....	71
3.3.2.	Instalación de luminarias .....	75
3.4.	Trabajos realizados en sexto magisterio .....	82
3.4.1.	Resultados obtenidos utilizando DIALux versión 4,8.....	87
3.4.2.	Instalación de luminarias .....	90
3.5.	Trabajos realizados en quinto magisterio .....	95
3.5.1.	Antes de la remodelación .....	96
3.5.2.	Toma de datos con el luxómetro .....	98
3.5.3.	Reparación e instalación de luminarias .....	101
3.5.4.	Toma de datos finales .....	104
4.	FASE DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE .....	109
4.1.	Métodos de capacitación.....	109
4.1.1.	Objetivo del método de capacitación.....	109
4.1.2.	Método magistral .....	110
4.1.3.	Período de capacitación .....	110
4.1.4.	Generalidades .....	110
4.1.4.1.	Acerca de la eficiencia energética....	111
4.1.4.2.	Ahorro de energía .....	112



4.1.4.3. Resultados del curso impartido ..... 113

CONCLUSIONES ..... 115

RECOMENDACIONES ..... 117

BIBLIOGRAFÍA ..... 119



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Longitud de onda de las radiaciones luminosas.....	30
2.	Ángulo de media proyección .....	36
3.	Diagrama de curvas polares .....	37
4.	Planos definidos en áreas de trabajo .....	38
5.	Partes de una lámpara CFL .....	42
6.	Filamentos colocados dentro de tubos de una lámpara fluorescente compacta CFL .....	43
7.	Diagrama de bloques de una lámpara fluorescente compacta .....	45
8.	Lámpara CFL 1 .....	51
9.	Lámpara CFL 2 .....	52
10.	Lámpara CFL 3 .....	52
11.	Lámpara CFL 4 .....	53
12.	Lámpara CFL 5 .....	53
13.	Lámpara CFL 6 .....	54
14.	Lámpara CFL 7 .....	54
15.	Lámpara CFL 8 .....	55
16.	Lámpara CFL 9 .....	55
17.	Lámpara CFL 10 .....	56
18.	Lámpara CFL 11 .....	56
19.	Lámpara CFL 12 .....	57
20.	Lámpara CFL 13 .....	57
21.	Lámpara CFL 14 .....	58
22.	Lámpara CFL 15 .....	58

23.	Lámpara CFL 16.....	59
24.	Características CFL elegida.....	60
25.	Diagrama de la iluminación media horizontal mantenida $E_m$ de la luminaria elegida.....	62
26.	Ejemplo de plano de trabajo en color amarillo .....	68
27.	Luxómetro sobre los escritorios .....	69
28.	Medición al frente del salón .....	69
29.	Medición atrás en el salón, lado izquierdo .....	70
30.	Medición atrás en el salón, lado derecho .....	70
31.	Escala de grises .....	73
32.	Ilustración final en 3D de las luminarias .....	74
33.	Iluminación original del salón de clases.....	75
34.	Marcaje de las plafoneras.....	76
35.	Instalación de plafoneras .....	77
36.	Vista final de las plafoneras instaladas.....	78
37.	Vista final de las luminarias instaladas y energizadas .....	78
38.	Medición al frente del salón .....	79
39.	Medición atrás en el salón, lado izquierdo.....	80
40.	Medición atrás en el salón, lado derecho .....	81
41.	Luxómetro tomando datos al frente del salón .....	82
42.	Ampliación de la figura 24 para mayor claridad.....	83
43.	Tomando datos al centro del salón de clases.....	84
44.	Tomando datos al fondo del salón de clases.....	85
45.	Iluminación original de sexto magisterio .....	86
46.	Escala de grises .....	88
47.	Ilustración final en 3D de las luminarias .....	89
48.	Marcaje de plafoneras .....	90
49.	Plafoneras instaladas y cableadas .....	91
50.	Iluminación del aula .....	92

51.	Medición lumínica al centro del salón de clases .....	93
52.	Medición lumínica al fondo del salón de clases .....	94
53.	Iluminación antes de la remodelación .....	96
54.	Iluminación antes de la remodelación .....	97
55.	Toma de datos al frente del salón .....	98
56.	Toma de datos al fondo, lado izquierdo .....	99
57.	Toma de datos al fondo, lado derecho .....	100
58.	Instalación de luminarias reparadas.....	101
59.	Instalación de luminarias reparadas.....	102
60.	Instalación terminada, vista desde el fondo del salón .....	102
61.	Iluminación terminada con las luces apagadas.....	103
62.	Iluminación terminada con las luces encendidas .....	103
63.	Toma de datos al frente del salón .....	104
64.	Toma de datos al fondo, lado izquierdo .....	105
65.	Toma de datos al fondo, lado derecho .....	106
66.	Remodelación en pasillos .....	107
67.	Remodelación en pasillos .....	108

## **TABLAS**

I.	Visión general sobre la situación actual de la Norma DIN 5035.....	2
II.	Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de tarea.....	12
III.	Ángulos mínimos de apantallamiento para luminancias de lámparas especificadas .....	15
IV.	Grupos de apariencia de color de lámparas.....	18
V.	Establecimientos educativos .....	24
VI.	Longitudes de onda de distintas frecuencias .....	28
VII.	Clasificación del índice de reproducción cromática.....	34

VIII.	Factores de utilización en porcentajes.....	39
IX.	Áreas de salones en el instituto .....	65
X.	Costo del proyecto de remodelación.....	67
XI.	Coordenadas de las luminarias de quinto magisterio .....	72
XII.	Coordenadas de las luminarias de sexto magisterio.....	87

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$E_s$	Energía de una señal
$\cos\Phi$	Factor de potencia
$f$	Frecuencia de una señal
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
$\text{Hz}$	Hertz
$L$	Iluminancia de luminaria en candela por metro
$K$	Kelvin
$\%$	Porcentaje
$\Sigma$	Sumatoria
$-$	Valor negativo
$+$	Valor positivo





## GLOSARIO

<b>Amperio</b>	Unidad de medida de corriente eléctrica establecido como un coulomb por segundo.
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute. Federación encargada de preparar recomendaciones y normas que cubren un gran aspecto de campos tecnológicos en los Estados Unidos.
<b>Balastro electromagnético o reactancia</b>	Dispositivo que se utiliza para mantener un flujo de corriente estable en lámparas de vapor de sodio, lámparas de mercurio, haluro metálico y tubos fluorescentes.
<b>Campo eléctrico</b>	Un campo eléctrico es un campo de fuerza creado por la atracción y repulsión de cargas eléctricas y se mide en voltios por metro (v/m).
<b>CE</b>	Comunidad Europea
<b>CEN</b>	Comité Europeo de Normalización
<b>CFL</b>	Lámpara Fluorescente Compacta ahorradora de energía.

<b>Corto circuito</b>	Es un defecto de baja impedancia entre dos puntos de potencial diferente que produce arco eléctrico, esfuerzos electrodinámicos y esfuerzos térmicos.
<b>Deslumbramiento</b>	Pérdida momentánea de la vista producida por un exceso brusco y repentino de luz.
<b>Efecto estroboscópico</b>	Se denomina efecto estroboscópico al efecto que se produce al iluminar mediante destellos, un objeto que se mueve en forma rápida y periódica.
<b>Eficiencia energética</b>	Es la reducción del consumo de energía a través de un mejor aprovechamiento de nuestros recursos, manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir la calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible.
<b>EPV</b>	Equipos con pantalla de visualización
<b><i>Flicker</i></b>	El <i>flicker</i> consiste en variaciones periódicas de amplitud o frecuencia en la forma de onda de la tensión de tal forma que resultan ser detectadas a simple vista, como un parpadeo, cuando la tensión alimenta lámparas, bombillos y otros dispositivos para iluminación.

<b>Flujo luminoso</b>	Es la cantidad de energía radiante luminosa emitida por una fuente de luz en una unidad de tiempo, se trata por tanto de una potencia luminosa. Lumen (lm).
<b>H(f)</b>	Función de transferencia.
<b>Iluminación</b>	Fenómeno producido al llenar un lugar u objeto de luz, puede ser natural o artificial.
<b>Iluminancia</b>	Flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad es el lux.
<b>Impedancia</b>	Magnitud que establece la relación entre la tensión y la intensidad de corriente, la cual tiene especial importancia si la corriente varía en el tiempo, un cuyo caso, la corriente, la tensión y la propia impedancia se describen con números complejos o funciones del análisis armónico.
<b>Inductancia</b>	La inductancia es una medida de la oposición a un cambio de corriente de una bobina que almacena energía en presencia de un campo magnético y se define como la relación entre el flujo magnético y la intensidad de corriente eléctrica que circula por la bobina y el número de vueltas del devanado.

<b>Joule</b>	El julio o joule (J) es la unidad de medida del sistema internacional para energía y trabajo.
<b>Lámparas de descarga</b>	Son fuentes luminosas cuyo principio de funcionamiento consiste en generar luz visible mediante una descarga eléctrica que se produce entre dos electrodos situados en el interior de un tubo lleno de gas.
<b>Lámparas incandescentes</b>	Dispositivo que produce luz mediante el calentamiento por efecto Joule de un filamento metálico.
<b>Luminaria</b>	Se refiere a los aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica a los dispositivos generadores de luz, llamados a su vez lámparas, bombillas o focos.
<b>Lux</b>	El lux es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación y equivale a un lumen/m <sup>2</sup> .
<b>Nanómetro</b>	Es la unidad de longitud que equivale a una milmillonésima parte de un metro (10 <sup>-9</sup> m). Comúnmente se utiliza para medir la longitud de onda de la radiación ultravioleta, radiación infrarroja y la luz.

<b>Normas DIN</b>	Las normas DIN son los estándares técnicos para el aseguramiento de la calidad en productos industriales y científicos en Alemania.
<b>Normas EN</b>	Normas europeas, adoptadas y ratificadas como normas españolas "UNE-EN". Son elaboradas por CEN (Comité Europeo de normalización) a través de sus comités técnicos (TC) con objeto de unificar los criterios de normalización en el ámbito europeo.
<b>Ohms</b>	Unidad de medida de la resistencia eléctrica entre dos puntos de un conductor cuando una diferencia de potencial constante 1 a 1 voltio, aplicada entre dos puntos, produce en el conductor una corriente de 1 amperio.
<b>Reflectancia</b>	Es la fracción de radiación incidente reflejada por una superficie.
<b>RF</b>	Radio frecuencia.
<b>Starter o cebador</b>	Dispositivo que proporciona el voltaje necesario para el encendido de una lámpara fluorescente.
<b>VAC</b>	Voltaje en corriente alterna. Utilizada comúnmente en las redes de electrificación nacional.
<b>VDC</b>	Voltaje en corriente directa.

**VHF**

Very High Frequency, Frecuencia de transmisión de televisión de 30 a 300 Mhz.

**Voltio**

Unidad de medida de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un alambre conductor por el que circula una corriente constante de 1 amperio cuando la potencia disipada entre sus puntos es de 1 watt.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación, contiene el estudio de iluminación realizado en la Escuela Normal Intercultural de Amatitlán y presenta las deficiencias lumínicas encontradas antes de llevar a cabo todas las remodelaciones.

En el primer capítulo, se da a conocer la historia de la Norma DIN 5035 aplicada a este estudio y también se profundiza en la Norma DIN EN 12464-1, que es la que actualmente está vigente.

El segundo capítulo comprende al análisis económico y fotométrico de las distintas luminarias y tecnologías encontradas en Guatemala, para poder determinar, cuál es la solución que mejor se aplica a este problema de iluminación en la Escuela Normal Intercultural de Amatitlán.

Se tomaron en cuenta aspectos técnicos que la Norma DIN EN 12464-1 recomendaba, como lo son: niveles de iluminación en centros educativos, distribución de luminarias, iluminancia, deslumbramiento, dirección de la luz y *flicker*. Pero también se tomó en cuenta el aspecto económico y la accesibilidad a repuestos de las luminarias a remplazar.

En el tercer capítulo se explica todo el desarrollo del proyecto en la Escuela Normal Intercultural de Amatitlán, desde que se hicieron las mediciones iniciales de luxes en las aulas, hasta que se instalaron las nuevas luminarias con los nuevos niveles de luxes requeridos por la Norma DIN EN 12464-1.

También se mencionan temas de actualidad como las energías renovables y la eficiencia energética, para que los alumnos y docentes

conozcan de estos temas y los pongan en práctica dentro y fuera de sus hogares.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar e implementar una propuesta de mejoramiento del sistema de iluminación en la Escuela Normal Intercultural de Amatitlán, aplicando una norma europea para beneficiar a más de 200 personas que estudian y laboran a diario en este establecimiento.

### **Específicos**

1. Que el estudio realizado en este instituto sirva como ejemplo para poderlo aplicar a otros establecimientos públicos de Guatemala.
2. Dar a conocer las nuevas tecnologías en el campo de la iluminación.
3. Aprender a utilizar de una forma más eficiente la energía eléctrica en un establecimiento público para poder trasladarle la idea a los usuarios del mismo y que lo apliquen en sus hogares.
4. Que despierte el interés en las personas sobre el uso de fuentes alternativas de energía y reducir así la dependencia del petróleo y los combustibles fósiles en Guatemala.
5. Desarrollar tecnologías y sistemas de vida y trabajo que ahorren energía para lograr un auténtico desarrollo, que se pueda llamar sostenible, es decir, aprender a usar eficientemente la energía.



## INTRODUCCIÓN

En Guatemala existe un alto porcentaje de establecimientos públicos que carecen de las condiciones básicas y los requerimientos mínimos para operar adecuadamente. Dentro de estos requerimientos, uno de los más importantes es la iluminación.

Para permitir que las personas realicen tareas visuales de modo eficiente y preciso, debería preverse una iluminación adecuada y apropiada. La iluminación puede ser proporcionada mediante luz natural, alumbrado artificial o una combinación de los mismos.

El grado de visibilidad y confort requerido en un amplio ámbito de trabajo es gobernado por el tipo y duración de la actividad. Las normas europeas especifican requisitos para sistemas de iluminación para la mayor parte de lugares de trabajo en interiores y sus áreas asociadas en términos de cantidad y calidad de iluminación. Además proporcionan recomendaciones sobre buena práctica de iluminación.

Como parte de este trabajo de graduación se decidió realizar el ejercicio de práctica supervisada en el Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, proponiendo así una remodelación y mejoramiento en la iluminación de todos sus salones de clase. Toda la remodelación se llevó a cabo en un período de 2 semanas, haciéndolo de una forma correcta y económica.

Al final del trabajo también se impartió un curso de capacitación, mostrándoles a los alumnos y personal docente el trabajo realizado en el

instituto, así como también las distintas formas de ahorrar energía eléctrica y las nuevas tecnologías que existen sobre las energías renovables.

# **1. LA NORMA DIN 5035 CON LAS DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN Y SU DESARROLLO**

Las Normas DIN, son los estándares técnicos para el aseguramiento de la calidad en productos industriales y científicos en Alemania. Las Normas DIN representan regulaciones que operan sobre el comercio, la industria, la ciencia e instituciones públicas respecto del desarrollo de productos alemanes.

## **1.1. Las Normas DIN**

DIN es un acrónimo de 'Deutsches Institut für Normung', o bien, "Instituto Alemán de Normalización", que es la institución con sede en Berlín y establecida en 1917, que se ocupa de la normalización alemana. El DIN realiza las mismas funciones que organismos internacionales como el ISO.

Las Normas DIN buscan corresponderse con el llamado estado de la ciencia, garantizando calidad y seguridad en la producción y consumo. En ocasiones, la regulación de las Normas DIN influye sobre las regulaciones de otros organismos de normalización internacionales. Que un producto cumpla con las Normas DIN es a menudo para el comprador y usuario del mismo, una garantía de confianza, calidad y seguridad.

## **1.2. La Norma DIN 5035 y su desarrollo**

La Norma DIN 5035 para iluminación artificial es un estándar de la serie DIN que se ocupa de los requisitos para la iluminación artificial en las diferentes aéreas.

Esta norma está dividida en 8 partes, las cuales han sido sustituidas o mejoradas por otras normas europeas más actuales. En la siguiente tabla se ilustran las distintas partes de la norma DIN 5035 y sus cambios.

Tabla I. **Visión general sobre la situación actual de la Norma DIN 5035**

	<b>Título</b>	<b>Reemplazada por norma europea</b>	<b>Estado actual</b>
<b>Parte 1</b>	Definiciones y requisitos generales	Esencialmente reemplazada por DIN EN 12665, DIN EN 12464-1, así como prEN 12464-2.	En la actualidad se está desarrollando un nuevo estándar. Se está previendo una nueva revisión.
<b>Parte 2</b>	Valores de referencia para lugares de trabajo interiores y exteriores.	Reemplazada por DIN EN 12464-1 así como prEN 12464-2.	Se retira después de la adopción de la norma DIN EN 12464-2.
<b>Parte 3</b>	Iluminación en centros de salud y hospitales.	Parcialmente reemplazada por DIN 12464-1	Norma está siendo revisada; nueva sección: la iluminación en el cuidado de la salud.
<b>Parte 4</b>	Recomendaciones específicas para salones de clase.	Parcialmente reemplazada por DIN 12464-1	Se está creando una nueva norma.
<b>Parte 5</b>	No disponible.		
<b>Parte 6</b>	Medición y evaluación.	-	Norma se está actualizando.
<b>Parte 7</b>	Iluminación de espacios de trabajo con equipos de computación.	Directrices para trabajos de oficina en la norma DIN EN 9241-6, Requisitos en la norma DIN EN 12464-1.	Norma se está revisando y actualmente existe como un proyecto de orientación (10-2001).
<b>Parte 8</b>	Requisitos especiales para iluminación de tareas de oficina y salas	-	Norma se está actualizando.

Fuente: Norma española UNE-EN 12464-1:2002, octubre 2003, p. 10.

Las versiones más antiguas de la Norma DIN 5035 son:

Norma DIN 5035-1: 1990

Norma DIN 5035-2: 1990

Norma DIN 5035-6: 1990

Norma DIN 5035-7: 1988

### **1.3. La Norma DIN EN 12464-1**

El estándar actual para la iluminación de los lugares de trabajo en interiores es la Norma DIN EN 12464-1, que define los requisitos para la iluminación en el sector industrial. Todo establecimiento que cumpla con la Norma DIN EN 12464-1, cumple automáticamente con la Norma DIN 5035.

Debido a que los salones de clase en escuelas y universidades de Alemania no son considerados como lugares de trabajo, se debe trabajar con las Normas DIN 5035-1 y DIN 5035-4 para efectos de cálculos en iluminación. Sin embargo, debido a que la Norma DIN 5035-1 a la fecha no está disponible, esto hace que falten las bases necesarias para la utilización de la Norma DIN 5035-4, quedando así establecida la Norma Europea EN 12464-1 desde noviembre de 2002 para referencia a la hora de trabajar proyectos de iluminación de interiores en establecimientos de trabajo y educativos.

Esta Norma Europea 12464-1:2002 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 169 Luz e iluminación, cuya Secretaría desempeña DIN. Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación, antes de finales de mayo de 2003 y todas las normas nacionales técnicamente divergentes fueron anuladas antes de finales de mayo de 2003.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

### **1.3.1. Objeto y campo de aplicación**

Para permitir que las personas realicen tareas visuales de modo eficiente y preciso, debería preverse una iluminación adecuada y apropiada. La iluminación puede ser proporcionada mediante luz natural, alumbrado artificial o una combinación de los mismos. El grado de visibilidad y confort requerido en un amplio ámbito de lugares de trabajo es gobernado por el tipo y duración de la actividad. Esta norma especifica requisitos para sistemas de iluminación para la mayor parte de los lugares de trabajo en interiores y sus áreas asociadas en términos de cantidad y calidad de iluminación. Además se dan recomendaciones sobre buena práctica de iluminación.

Esta norma europea especifica requisitos de iluminación para lugares de trabajo en interiores, que satisfacen las necesidades de confort y prestaciones visuales. Se han considerado todas las tareas visuales corrientes, incluyendo los Equipos con Pantalla de Visualización (EPV).

Esta norma europea no especifica requisitos de iluminación con respecto a la seguridad y salud de trabajadores en el trabajo y no ha sido preparada en el campo de aplicación del Artículo 137 del tratado de la CE, aunque los requisitos de iluminación, como se ha especificado en esta norma, usualmente satisfacen necesidades de seguridad.



Los requisitos de iluminación con respecto a la seguridad y salud de los trabajadores en el trabajo pueden estar contenidos en Directivas basadas en el Artículo 137 del tratado de CE, en la legislación nacional de los estados miembros que ponen en práctica estas directivas o en otra legislación nacional de los estados miembros. Esta norma ni proporciona soluciones específicas, ni restringe la libertad de los diseñadores para explorar nuevas técnicas, ni restringe el uso de equipos innovadores. Esta norma no es aplicable a la iluminación de lugares de trabajo en exteriores ni en minería en el subsuelo.

### **1.3.2. Normas para consulta**

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Para las referencias con fecha, no son aplicables las revisiones o modificaciones posteriores de ninguna de las publicaciones. Para las referencias sin fecha, se aplica la edición en vigor del documento normativo al que se haga referencia (incluyendo sus modificaciones).

EN 12193 – Iluminación. Iluminación de instalaciones deportivas.

EN 12665:2002 – Iluminación. Términos básicos y criterios para la especificación de los requisitos de alumbrado.

EN 13032-1 – Iluminación. Medición y presentación de los datos fotométricos de lámparas y luminarias. Parte 1: Medición.

CIE 117:1995 – Deslumbramiento molesto en alumbrado de interiores.

## **1.4. Términos y definiciones**

Para los propósitos de esta norma europea, se aplican los términos dados en la Norma EN 12665:2002 y los siguientes. En esta sección se definen términos y cantidades que se usan y son importantes para esta norma, y que pueden no estar recogidos en la Norma CEI 60050-845.

### **1.4.1. Tarea visual**

Se refiere a los elementos visuales del trabajo que se está haciendo. Los elementos visuales principales son el tamaño de la estructura, su luminancia, su contraste contra el fondo y su duración.

### **1.4.2. Área de tarea**

Área parcial en el puesto de trabajo en el que la tarea visual es llevada a cabo.

Para puestos en los que el tamaño y/o posición del área de tarea es desconocido, el área en el que la tarea puede ocurrir debe ser tomada como el área de tarea.

### **1.4.3. Área circundante inmediata**

Este término se refiere a una banda con un ancho de al menos 0,5 metros que rodea el área de tarea dentro del campo de visión.

#### **1.4.4. Iluminancia mantenida ( $E_m$ )**

Este término se refiere al valor por debajo del cual no se permite que caiga la iluminación media en la superficie especificada. También se puede definir como la iluminancia media en el instante en que debe ser llevado a cabo el mantenimiento.

#### **1.4.5. Ángulo de apantallamiento**

Este término se refiere al ángulo entre el plano horizontal y la primera línea de visión en la que son directamente visibles las partes luminosas de las lámparas en la luminaria.

#### **1.4.6. Equipo con Pantalla de Visualización (EPV)**

Se refiere básicamente a equipos con pantallas de visualización alfanumérica o gráfica, independiente del proceso de visualización empleado.

#### **1.4.7. Uniformidad de iluminancia**

Es la relación o cociente entre la iluminación mínima y la iluminación media sobre una superficie.

### **1.5. Criterios de diseño de iluminación**

Se deben tomar varios criterios a la hora de diseñar ambientes con distintos tipos de iluminación.

### 1.5.1. Ambiente luminoso

Para la buena práctica de iluminación es esencial que además de la iluminancia requerida, se satisfagan necesidades cualitativas y cuantitativas.

Los requisitos de iluminación son determinados por la satisfacción de tres necesidades humanas básicas:

- Confort visual, en el que los trabajadores tienen una sensación de bienestar; de un modo indirecto también contribuye a un elevado nivel de productividad.
- Prestaciones visuales, en el que los trabajadores son capaces de realizar sus tareas visuales, incluso en circunstancias difíciles y durante períodos más largos.
- Seguridad.

Los parámetros fundamentales que determinan el ambiente o entorno luminoso son:

- Distribución de luminancias
- Iluminancia
- Deslumbramiento
- Dirección de la luz
- Rendimiento de colores y apariencia de colores de la luz
- *Flicker*
- Luz natural o diurna

### **1.5.2. Distribución de luminancias**

La distribución de luminancias en el campo de visión controla el nivel de adaptación de los ojos que afecta a la visibilidad de la tarea. Una luminancia de adaptación bien equilibrada es necesaria para aumentar:

- La agudeza visual (visión agudizada).
- La sensibilidad al contraste (discriminación de diferencias de luminancia relativamente pequeñas).
- La eficiencia de las funciones oculares (tales como acomodación, convergencia, contracción de la pupila, movimientos de ojo, etc.)

La distribución de luminancias en el campo de visión afecta también al confort visual. Debería evitarse lo siguiente por las razones dadas:

- Luminancias demasiado elevadas que pueden dar lugar a deslumbramiento.
- Contrastes de luminancias demasiado altos que causaran fatiga debido a la readaptación constante de los ojos.
- Luminancias demasiado bajas y contrastes de luminancias demasiado bajos que dan como resultado un ambiente de trabajo monótono y no estimulante.

Son importantes las luminancias de todas las superficies y serán determinadas por la reflectancia y la iluminancia en las superficies.

Los márgenes de reflectancia útiles para las principales superficies interiores son:

- Techo: 0,6 a 0,9
- Paredes: 0,3 a 0,8
- Planos de trabajo: 0,2 a 0,6
- Suelo: 0,1 a 0,5

### **1.5.3. Iluminancia**

La iluminancia y su distribución en el área de la tarea y el área circundante tienen un gran impacto en cómo una persona percibe y realiza la tarea visual de un modo rápido, seguro y confortable. Todos los valores de iluminación especificados en esta norma son iluminancias mantenidas y proporcionarán medios para satisfacer las necesidades de confort y prestaciones visuales.

#### **1.5.3.1. Iluminancias recomendadas en el área de la tarea**

La iluminancia media para cada tarea no debe caer por debajo de cierto valor, independientemente de la edad y estado de la instalación. Los valores son válidos para condiciones visuales normales y tienen en cuenta los siguientes factores:

- Aspectos psico-fisiológicos tales el confort visual y el bienestar.
- Requisitos para tareas visuales.
- Ergonomía visual
- Experiencia práctica
- Seguridad
- Economía

El valor de iluminancia puede ser ajustado en al menos un escalón en la escala de iluminancias (véase a continuación), si las condiciones visuales difieren de las suposiciones normales. Un factor de aproximadamente 1,5 representa la menor diferencia significativa en el efecto subjetivo de iluminancia, si en condiciones normales de iluminación, se requieren aproximadamente 20 lux para discernir características de la cara humana y es el valor más abajo tomado para la escala de iluminancias.

La iluminancia mantenida requerida debería ser aumentada, cuando:

- El trabajo visual es crítico.
- Los errores son costosos de rectificar.
- La exactitud o la mayor productividad es de gran importancia.
- La capacidad visual del trabajo está por debajo de la normal.
- Los detalles de la tarea son de tamaño inusualmente pequeño o de bajo contraste.
- La tarea es realizada durante un tiempo inusualmente largo.

La iluminancia mantenida requerida puede ser disminuida cuando:

- Los detalles de la tarea son de un tamaño inusualmente grande o de un elevado contraste.
- La tarea es emprendida durante un tiempo inusualmente corto.

En áreas ocupadas de modo continuo, la iluminancia mantenida no debe ser menor de 200 lux.

### **1.5.3.2. Iluminancias de áreas circundantes inmediatas**

La iluminancia de áreas circundantes inmediatas, debe estar relacionada con la iluminancia del área de tarea y debería proporcionar una distribución de luminancias bien equilibrada en el campo de visión.

Las grandes variaciones especiales en iluminancias alrededor del área de tarea pueden conducir a tensiones y molestias visuales. La iluminancia de las áreas circundantes inmediatas puede ser inferior a la iluminancia de la tarea pero no debe ser menor que los valores dados en la tabla II, que habla sobre la variación permitida de un área a otra sin que cause deslumbramiento.

Tabla II. **Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de tarea**

<b>Iluminancia de tarea en lux</b>	<b>Iluminancia de áreas circundantes inmediatas en lux</b>
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{tarea}}$
Uniformidad: > 0,7	Uniformidad: > 0,5

Fuente: Norma española UNE-EN 12464-1:2002, octubre 2003, p. 15.

Además de la iluminancia de la tarea la iluminación debe proporcionar adecuada la luminancia de adaptación de acuerdo con el apartado 1.5.2.

### **1.5.3.3. Uniformidad**

El área de tarea debe ser iluminada tan uniformemente como sea posible. La uniformidad del área de tarea y las áreas circundantes inmediatas no deben ser menores que los valores dados en la tabla II.



#### **1.5.4. 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 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 del deslumbramiento molesto, los cuales se muestran en la tabla V, el deslumbramiento perturbador no es usualmente un problema importante.

Nota 1 – Es necesario un cuidado especial para evitar el deslumbramiento cuando la dirección de visión está por encima de la horizontal.

#### 1.5.4.1. 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:

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

La determinación del valor de este índice es compleja y en la práctica necesita el apoyo informático mediante el uso de un *software* específico facilitado por alguna casa de suministro de luminarias.

Todas las suposiciones hechas en la determinación del UGR deben ser establecidas en la documentación del proyecto. El valor de UGR de la instalación de iluminación no debe exceder del valor dado en la tabla V.

Originalmente estos valores se encuentran entre 10 y 30 siendo el inferior el que mejores condiciones presenta frente al deslumbramiento.

Las variaciones de UGR dentro de la sala pueden ser determinadas utilizando la fórmula para diferentes posiciones de observador.

Los límites para esta condición están en estudio todavía sin tener un resultado concreto aún.

Si el valor máximo de UGR en la sala es mayor que el límite de UGR dado en la tabla V, puede ser necesaria información sobre posiciones apropiadas para los lugares de trabajo con pantallas situadas dentro de la sala. El deslumbramiento molesto de las ventanas es aún motivo de investigación. No hay aún un método de evaluación del deslumbramiento adecuado disponible de modo habitual.

#### **1.5.4.2. Apantallamiento contra el deslumbramiento**

Las fuentes luminosas brillantes pueden causar deslumbramiento y pueden alterar la visión de los objetos. Se deben evitar por ejemplo mediante el apantallamiento adecuado de lámparas o el oscurecimiento de ventanas mediante cortinas.

Deben aplicarse los ángulos de apantallamiento mínimos dados en la tabla 2 para las luminancias de lámparas especificadas.

Nota – Los valores dados en la tabla 2 no se aplican a luminarias que iluminan indirectamente o a luminarias montadas por debajo del nivel normal del ojo.

Tabla III. **Ángulos mínimos de apantallamiento para luminancias de lámparas especificadas**

<b>Luminancia de lámpara kcd x m<sup>-2</sup></b>	<b>Ángulo de apantallamiento mínimo</b>
20 a < 50	15°
50 a < 500	20°
≥ 500	30°

Fuente: Norma española UNE-EN 12464-1:2002, octubre 2003, p. 20.

### **1.5.4.3. Deslumbramiento reflejado**

Las reflexiones muy brillantes en la tarea visual pueden alterar usualmente de modo perjudicial la visibilidad de la tarea. Las reflexiones de velo y el deslumbramiento reflejado pueden ser impedidos o reducidos mediante la adopción de las siguientes medidas:

- Disposición de luminarias y lugares de trabajo
- Acabado de las superficies (superficies mates)
- Limitación de luminancia de luminarias
- Área luminosa aumentada de la luminaria
- Techo brillante y paredes brillantes

### **1.5.5. Iluminación direccional**

La iluminación direccional puede usarse para hacer resaltar objetos, revelar la textura y mejorar la apariencia de personas dentro del espacio. Esto se describe mediante el término modelado. La iluminación direccional de una tarea visual puede también afectar a su visibilidad.

#### **1.5.5.1. Modelado**

El modelado, es el equilibrio entre luz difusa y luz direccional. Es un criterio válido de calidad de iluminación virtualmente en todos los tipos de interiores. La apariencia general de un interior resulta mejorada cuando sus características estructurales, las personas y objetos dentro de él son iluminados de modo que se revelen la forma y la textura de un modo claro y agradable. Esto ocurre cuando la luz precede predominantemente de una dirección; las sombras así esenciales para un buen modelado son formadas entonces sin

confusión. La iluminación no debería ser demasiado direccional o producirá sombras fuertes, ni deberá ser demasiado difusa o el efecto de modelado se perderá totalmente, dando como resultado un ambiente luminoso muy apagado o monótono.

#### **1.5.5.2. Iluminación direccional de tareas visuales**

La iluminación procedente de una dirección específica puede revelar detalles dentro de una tarea visual, aumentando su visibilidad y haciendo la tarea más fácil de realizar. Deberían evitarse reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado, véase el apartado 1.5.4.3.

#### **1.5.6. Aspectos de color**

Las cualidades de color de una lámpara próxima al blanco están caracterizadas por dos atributos:

- La apariencia de color de la propia lámpara.
- Sus capacidades para el rendimiento de colores, que afectan a la apariencia de color de objetos y personas iluminadas por la lámpara.

Estos dos atributos deben ser considerados por separado.

##### **1.5.6.1. Apariencia de color**

La apariencia de color, de una lámpara se refiere al color aparente (cromaticidad) de la luz emitida. Es cuantificada por su temperatura de color correlacionada ( $T_{CP}$ ). La apariencia de color puede también ser descrita según en la tabla III.

Tabla IV. **Grupos de apariencia de color de lámparas**

<b>Apariencia de color</b>	<b>Temperatura de color correlacionada <math>T_{CP}</math> K</b>
Cálida	Inferior a 3,300 K
Intermedia	3300 K a 5300 K
Fría	Superior a 5300 K

Fuente: Norma española UNE-EN 12464-1:2002, octubre 2003, p. 23.

La elección de apariencia de color es una cuestión psicológica, estética y de lo que se considera como natural. La elección dependerá del nivel de iluminancia, colores de la sala y muebles, clima circundante y la aplicación. En climas cálidos generalmente se prefiere una apariencia de color de luz más fría, mientras que en climas fríos se prefiere una apariencia de color de luz más cálida.

#### **1.5.6.2. Rendimiento de colores**

Es importante para las prestaciones visuales y la sensación de confort y bienestar, que los colores del entorno, de objetos y de la piel humana sean reproducidos de forma natural, correctamente y de tal modo que haga que las personas parezcan atractivas y saludables. Para proporcionar una indicación objetiva de las propiedades de rendimiento de colores de una fuente luminosa se ha introducido el índice de rendimiento de colores general  $R_a$ . El valor máximo de  $R_a$  es 100. Esta cifra disminuye al disminuir la calidad de rendimiento de color.

Las lámparas con un índice de rendimiento de color menor de 80, no deberían ser usadas en interiores en los que las personas trabajen o permanezcan durante períodos largos. Pueden hacerse excepciones para algunos lugares y/o actividades (por ejemplo iluminación de grandes alturas), pero deben tomarse medidas adecuadas para asegurar el alumbrado con el mayor rendimiento de colores en lugares de trabajo ocupados de modo continuo y cuando se hayan de reconocer los colores de seguridad. El valor mínimo del índice de rendimiento de colores para distintos tipos de interiores (áreas), tareas o actividades aparecen en la tabla V.

#### **1.5.7. *Flicker* y efectos estroboscópicos**

El *flicker* causa distracción y puede dar lugar a efectos fisiológicos tales como dolores de cabeza. Los efectos estroboscópicos pueden conducir a situaciones peligrosas cambiando el movimiento percibido de maquinaria giratoria o que se mueve en vaivén. Los sistemas de iluminación deberían estar diseñados para evitar el *flicker* y los efectos estroboscópicos, instalando filtros de frecuencias y reguladores de voltaje. Esto puede conseguirse usualmente por ejemplo mediante el uso de alimentación con corriente continua para lámparas incandescentes, o haciendo funcionar lámparas incandescentes o lámparas de descarga a altas frecuencias (alrededor de 30 kHz).

#### **1.5.8. Factor de mantenimiento**

El proyecto de iluminación debería estar diseñado con un factor de mantenimiento total calculado para el equipo de alumbrado seleccionado, ambiente espacial y programa de mantenimiento especificado. La iluminancia recomendada para cada tarea está dada como iluminancia mantenida. El factor de mantenimiento depende de las características de mantenimiento de la

lámpara y del equipo eléctrico, la luminaria, el ambiente y el programa de mantenimiento.

El diseñador debe:

- Establecer el factor de mantenimiento y anotar todas las suposiciones hechas en el establecimiento del valor.
- Especificar el equipo de iluminación adecuado para el ambiente de aplicación.
- Preparar un programa de mantenimiento completo que incluya la frecuencia de remplazamiento de la lámpara, los intervalos de limpieza de la luminaria y de la sala y el método de limpieza.

#### **1.5.9. Consideraciones sobre la energía**

Una instalación de alumbrado debería satisfacer los requisitos de iluminación de un espacio particular sin malgastar energía. Sin embargo, es importante no comprometer ni los aspectos visuales de una instalación de iluminación simplemente para reducir el consumo de energía. Esto requiere la consideración de sistemas de alumbrado, equipos y controles apropiados y el uso de la luz natural disponible.

#### **1.6. Luz natural**

La luz natural puede proporcionar la totalidad o parte de la iluminación para tareas visuales. Varía de nivel y de composición espectral con el tiempo y por ello proporciona una variación en un interior. La luz natural puede crear un



modelado específico y una distribución de luminancias debido a su flujo luminoso casi horizontal procedente de las ventanas laterales. Las ventanas pueden proporcionar un contacto visual con el mundo exterior, que es preferido por la mayor parte de la gente. En interiores con ventanas laterales, la luz natural disponible disminuye rápidamente con la distancia de la ventana. Es necesario un alumbrado suplementario para asegurar la iluminancia requerida en el puesto de trabajo y para equilibrar la distribución de luminancias dentro de la sala. Puede usarse conmutación y/o regulación del flujo luminoso automática o manual para asegurar la integración apropiada entre alumbrado eléctrico y luz natural.

Para reducir el deslumbramiento de las ventanas, debería preverse un apantallamiento cuando sea apropiado.

## **1.7. Iluminación de puestos de trabajo con Equipo con Pantalla de Visualización (EPV) incluidas Unidades de Presentación Visual (UPV)**

Esta sección se refiere básicamente a la iluminación de puestos de trabajo o áreas donde se estén realizando tareas que involucren equipos de computación, en donde se tenga una visualización directa con el monitor.

### **1.7.1. Generalidades**

La iluminación para los puestos de trabajo (EPV) debe ser apropiado para todas las tareas realizadas, por ejemplo lectura de pantalla, texto impreso, escritura en papel, trabajo con teclado. El EPV y en algunas circunstancias el teclado pueden presentar reflejos que provoquen el deslumbramiento incapacitivo y molesto. Es necesario por ello seleccionar, posicionar y disponer

las luminarias para evitar reflexiones de alto brillo. El diseñador debe determinar la zona de montaje ofensiva y elegir el equipo y las posiciones de montaje en plano que no provoquen reflejos perturbadores.

### **1.8. Composición de la tabla V**

La columna 1 recoge el número de referencia para cada (área) interior, tarea o actividad.

La columna 2 recoge las (áreas) interiores, tareas o actividades, para las que están dados los requisitos específicos. Si el (área) interior, tarea o actividad particular no está recogida, deberían adoptarse los valores dados para una situación similar, comparable.

La columna 3 da la iluminancia mantenida en la superficie de referencia (véase el apartado 1.5.3) para el (área) interior, tarea o actividad dada en la columna 2. Puede requerirse un control de la iluminación para conseguir una flexibilidad adecuada para la variedad de tareas realizadas.

Cuando los límites de UGR (límite de Índice de Deslumbramiento Unificado UGR) son aplicables a la situación recogida en la columna 2, se recogen en la columna 4 (véase el apartado 1.5.4).

La columna 5 proporciona los índices de rendimiento de colores ( $R_a$ ) mínimos (véase el apartado 1.5.6.2) para la situación recogida en la columna 2. Este índice muestra que tan cerca se ven los colores de su tonalidad original, al utilizar una luminaria. Un buen índice de rendimiento de color está por arriba de 80.

En la columna 6 se dan avisos para excepciones y aplicaciones especiales de las situaciones recogidas en la columna 2.

Tabla V. **Establecimientos educativos**

Número de aplicación	Tipo de interior, tarea y actividad	$E_{m}$ Lux	UGR <sub>L</sub>	R <sub>a</sub>	Observaciones
1	Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
2	Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
3	Sala de lectura	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
4	Pizarra	500	19	80	Evitar reflexiones especulares
5	Mesa de demostraciones	500	19	80	En salas de lecturas 750 lux
6	Aulas de arte	500	19	80	
7	Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	90	$T_{CP} \geq 5000$ K
8	Aulas de dibujo técnico	750	16	80	
9	Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	80	

Continuación de la tabla V.

10	Aulas de manualidades	500	19	80	
11	Talleres de enseñanza	500	19	80	
12	Aulas de prácticas de música	300	19	80	
13	Aulas de prácticas de informática	300	19	80	Trabajo con EPV: véase el apartado 1.5.11
14	Laboratorio de lenguas	300	19	80	
15	Aulas de preparación y talleres	500	22	80	
16	Halls de entrada	200	22	80	
17	Áreas de circulación, pasillos	100	25	80	
18	Escaleras	150	25	80	
19	Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	80	
20	Salas de profesores	300	19	80	
21	Biblioteca: estanterías	200	19	80	

Continuación de la tabla V.

22	Biblioteca: salas de lectura	500	19	80	
23	Almacenes de material de profesores	100	25	80	
24	Salas de deportes, gimnasios, piscinas (uso general)	300	22	80	Para actividades más específicas, se deben usar los requisitos de la Norma EN 12193
25	Comedores escolares	200	22	80	
26	Cocina	500	22	80	
27	Sala de juegos	300	19	80	
28	Guardería	300	19	80	
29	Sala de manualidades	300	19	80	

Fuente: Norma española UNE-EN 12464-1:2002, octubre 2003, p. 35.

## **2. ANÁLISIS FOTOMÉTRICO Y ECONÓMICO DE DISTINTAS LUMINARIAS**

En todo sistema de iluminación se debe considerar siempre un análisis tanto fotométrico como económico. Esto servirá para optimizar recursos y encontrar las luminarias más adecuadas dependiendo el entorno o ambiente que se quiera iluminar.

### **2.1. Longitud de onda de las radiaciones luminosas**

La definición de la luz dada por la OSA (Optical Society of America) se expresa en los siguientes términos: “La luz es aquel espectro de la energía radiante que un observador humano percibe a través de las sensaciones visuales producidas por el estímulo de la retina del ojo“. Sin embargo, cuando se intenta explicar las interacciones luz-materia, como por ejemplo en la emisión y absorción de luz, se presentan serias dificultades para explicar estos efectos con la teoría ondulatoria.

Del estudio de la interferencia y difracción, de la velocidad de la luz, del efecto Doppler, etc., podemos deducir con certeza que la luz tiene carácter ondulatorio, pero también hay pruebas de que la luz consiste en pequeños paquetes de energía localizados, pudiendo comunicar toda su energía a un solo átomo. A estas partículas se les da el nombre de fotones o cuantos de luz. Las ondas más cortas para las que el ojo humano es sensible son las violetas (380 nanómetros). Las más largas que el ojo humano es capaz de apreciar son las rojas, correspondientes a longitudes de onda de 780 nanómetros.

La zona del espectro electromagnético comprendida entre estos límites se denomina Espectro Visible y es una pequeñísima parte del espectro total. Esto se puede observar en la tabla VI donde se indican las distintas zonas del espectro electromagnético, desde las frecuencias más bajas hasta las más altas, con la colocación en su seno del espectro visible.

Cada frecuencia del espectro visible produce sobre el ojo una sensación de color distinta. Las frecuencias más bajas corresponden a tonos rojos, las frecuencias intermedias son tonos amarillos, verdes, etc. y las más altas corresponden a tonos violetas.

Tabla VI. **Longitudes de onda de distintas frecuencias**

DENOMINACIÓN DE LA ZONA	MARGEN DE FRECUENCIAS	MARGEN DE LONGITUDES DE ONDA
ELF Frecuencias extremadamente bajas	0 Hz A 30 Hz	0 a 10 <sup>4</sup> kilómetros
SLF Frecuencias súper bajas	30 Hz a 300 Hz	10 <sup>4</sup> kilómetros a 10 <sup>3</sup> kilómetros
ULF Frecuencias ultra bajas	300 Hz a 3 Khz	10 <sup>3</sup> kilómetros a 10 <sup>2</sup> kilómetros
VLF Frecuencias muy bajas	3 Khz a 30 Khz	10 <sup>2</sup> kilómetros a 10 kilómetros
LF Frecuencias bajas	30 Khz a 300 Khz	10 kilómetros a 1 kilómetro
MF Frecuencias medias	300 Khz a 3 Mhz	1 kilómetro a 100 metros
HF Frecuencias altas	3 Mhz a 30 Mhz	100 metros a 10 metros
VHF Frecuencias muy altas	30 Mhz a 300 Mhz	10 metros a 1 metros
UHF Frecuencias ultra altas	300 Mhz a 3 Ghz	1 metros a 0,1 metros
SHF Frecuencias súper altas	3 Ghz a 30 Ghz	0,1 metros a 1 centímetro
EHF Frecuencias extremadamente altas	30 Ghz a 300 Ghz	1 centímetro a 1 milímetro
Sin denominación	300 Ghz a 1 Thz	1 milímetro a 0,3 milímetros
Infrarrojo	1 Thz a 384 Thz	0,3 milímetros a 780 nanómetros
Espectro visible	384 Thz a 790 Thz	780 nanómetros a 380 nanómetros



Continuación de la tabla VI.

Ultravioleta	790 Thz a $3 \cdot 10^{15}$ Hz	380 nanómetros a 100 nanómetros
Rayos X	$3 \cdot 10^{15}$ Hz a $3 \cdot 10^{19}$ Hz	100 nanómetros a $10^{-2}$ nanómetros
Rayos gamma	$3 \cdot 10^{19}$ Hz a $3 \cdot 10^{22}$ Hz	$10^{-2}$ nanómetros a $10^{-5}$ nanómetros
Rayos cósmicos	$3 \cdot 10^{22}$ Hz a $10^{25}$ Hz	$10^{-5}$ nanómetros a $10^{-8}$ nanómetros

Fuente: Norma española UNE-EN 12464-1:2002, octubre 2003, p. 53.

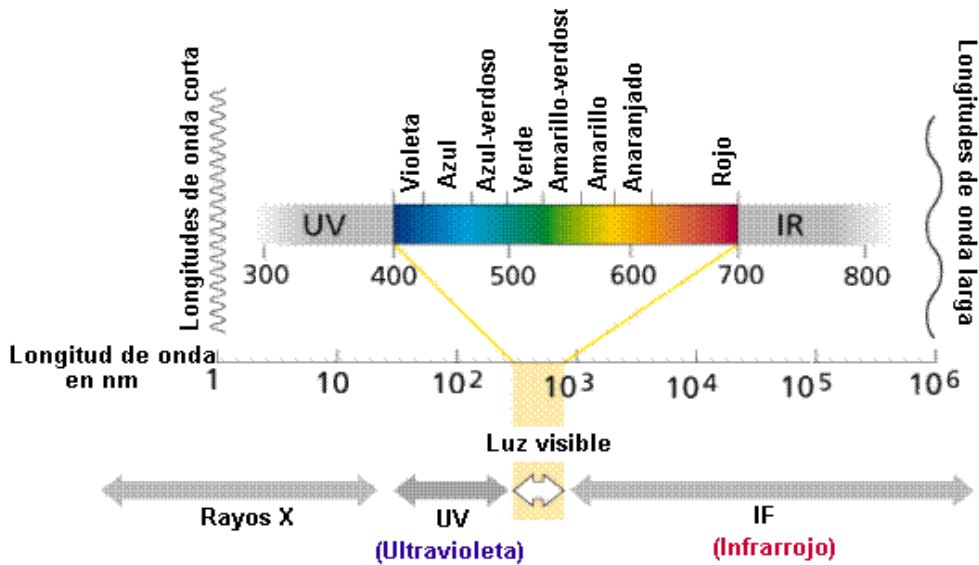
Según se avanza en el espectro de frecuencias, las ondas de radio, que ocupan la región baja, se comportan en todos los aspectos importantes como radiación electromagnética clásica, lo que está relacionado con el hecho de que la energía de sus fotones ( $h \cdot f$ ), es demasiado pequeña ( $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$  julio\*seg) y por tanto, el número de fotones es muy grande, esto debido a que Albert Einstein se basó en 1905 en el trabajo de Max Planck y propuso que la energía E relacionada con un fotón es:

$$E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$$

Del mismo modo, la luz visible de intensidad normal contiene tantos fotones que su comportamiento medio, queda bien explicado por la teoría ondulatoria, siempre que las interacciones con los átomos individuales de la materia no comprometan los estados cuantificados de energía de estos últimos.

La figura 1 muestra las distintas longitudes de onda de las radiaciones luminosas en donde se puede apreciar el espectro de luz visible para el ojo humano, el cual está ubicado entre el espectro de luz ultravioleta y el espectro de luz infrarroja.

Figura 1. Longitud de onda de las radiaciones luminosas



Fuente: manual Osram, Lo que Ud. debe saber sobre la iluminación de oficinas y talleres, p.5.

## 2.2. Fundamentos básicos de iluminación

En iluminación existen varios conceptos que se deben entender para poder hacer estudios y poder proponer verdaderas soluciones de iluminación.

### 2.2.1. Luz y radiación

La luz es una radiación electromagnética que el ojo humano percibe como claridad. El ojo humano solo es sensible a una pequeña parte del espectro de radiaciones, una franja entre 380 y 780 nanómetros, entre los colores violeta y rojo. Por tal motivo, los rayos ultravioleta ( $>720$  nanómetros) y los infrarrojos ( $<380$  nanómetros) resultan invisibles.

### 2.2.2. Flujo luminoso y rendimiento luminoso

El flujo luminoso  $\Phi$ , es la potencia de energía radiante que proporciona una lámpara u otra fuente luminosa, evaluada según el valor relativo de 683 lúmenes por *watts* fijado internacionalmente por la CIE para la sensibilidad del ojo humano, que es máxima para longitudes de onda de 555 nanómetros (color verde). El flujo luminoso se mide en lúmenes. El rendimiento luminoso de una lámpara es la relación entre el flujo emitido y la potencia consumida, variando notablemente entre los diversos tipos de lámparas:

$$\eta_L = \Phi(\text{lm}) / P(\text{W})$$

Esto quiere decir que el rendimiento luminoso  $\eta_L$  de una fuente de luz es la relación entre el flujo luminoso emitido y la potencia consumida por dicha fuente. Puede entenderse este valor en términos de porcentaje de eficiencia. Por ejemplo, un bombillo común de filamento emite un 85 por ciento de la energía eléctrica gastada en forma de calor y otras radiaciones, y solo un 15 por ciento efectivamente en iluminación visible, por lo que resulta muy ineficiente.

### 2.2.3. Intensidad luminosa

Se llama así al flujo luminoso irradiado por unidad de ángulo sólido. El estereorradián es la unidad de ángulo sólido y hay  $4\pi$  estereorradianes alrededor de un punto rodeado por una superficie esférica. Representa la intensidad con que se proyecta la luz en una dirección determinada. Su distribución se representa mediante curvas polares y puede modificarse con la ayuda de reflectores y difusores. La intensidad luminosa se mide en candelas (cd).

#### **2.2.4. Iluminancia (E)**

La iluminancia se define como el flujo luminoso que incide sobre una superficie dividido por el área de dicha superficie. Es la magnitud que indica el nivel de la iluminación que hay sobre una superficie. La iluminancia se mide en luxes (lx).

#### **2.2.5. Luminancia (L)**

La luminancia indica impresión de brillo con la que el ojo humano percibe una superficie iluminada desde una cierta dirección. Es la intensidad luminosa por unidad de superficie visible de una fuente de luz (directa) o de una superficie iluminada (indirecta). La luminancia indirecta puede calcularse a partir de la iluminancia E, aplicando la siguiente fórmula:

$$L = \rho \cdot E / \pi$$

Donde  $\rho$  es el coeficiente de reflexión de la superficie, que puede hallarse en tablas en muchas publicaciones técnicas. Esta fórmula no se aplica en el caso de superficies muy brillantes. La luminancia se mide en candelas por metro cuadrado.

#### **2.2.6. Índice de reproducción cromática (IRC o Ra)**

Dependiendo del lugar de aplicación y de la tarea visual a realizar, la luz artificial debe procurar una percepción del color adecuada. La capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores se mide con el índice de reproducción cromática Ra.

El concepto de la reproducción cromática de una fuente luminosa se define por el aspecto de los colores de los objetos iluminados en comparación con el aspecto que ofrecen bajo una luz de referencia (en principio, la luz natural o la luz de espectro continuo).

El valor  $R_a$  se puede determinar iluminando un conjunto de ocho colores de muestra establecidos por la Norma DIN 6169, con la luz de referencia y con la luz que se analiza, valorando de 0 a 100 la reproducción cromática de cada muestra.

Haciendo la media de los índices de los ocho colores se obtiene el índice  $R_a$ . Para  $R_a = 100$ , los colores obtenidos con la fuente de luz son idénticos a los producidos por la fuente de referencia.

Para esto se ha hecho una clasificación según la Norma DIN 5035, como lo muestra la tabla VII. Esta tabla muestra la clasificación del índice de reproducción cromática.

La primera columna muestra el grupo rendimiento de color. La segunda columna muestra el rango de rendimiento en color. La tercera columna muestra la apariencia de color.

La cuarta columna muestra algunos ejemplos para los cuales son preferibles estos usos, mientras que la quinta columna muestra algunos ejemplos para los cuales su uso es aceptable.

Tabla VII. **Clasificación del índice de reproducción cromática**

Grupo rendimiento en color	Rango de rendimiento en color (IRC o R <sub>a</sub> )	Apariencia de color	Ejemplos para usos preferible	Ejemplos para uso aceptable
1A	IRC ≥ 90	Cálido Intermedio Frío	Galerías de arte	
1B	90 □ IRC ≥ 80	Cálido Intermedio	Casas Hoteles Restaurantes Imprentas Escuelas Oficinas Hospitales	
2	80 □ IRC ≥ 60	Cálido Intermedio Frío	Trabajo industrial	Oficinas, escuelas
3	60 □ IRC ≥ 40		Industrias en general	Trabajo industrial
4	40 □ IRC ≥ 20			Trabajos bastos e industrial con bajo requerimiento de rendimiento de color

Fuente: Norma española UNE-EN 12464-1:2002, octubre 2003, p. 45.

### 2.2.7. Temperatura de color

La temperatura de color de una fuente de luz depende de la distribución de la luz emitida en la parte visible del espectro. Desde el punto de vista científico, representa la temperatura a la que se debe calentar un cuerpo negro para que emita una luz del mismo color que la de la fuente de luz estudiada.

Por ser una temperatura, se mide en Kelvin (K), antes llamado grado Kelvin, pero ahora simplemente Kelvin.

Cuando en una fuente de luz predomina el rojo, se dice que es una luz cálida, por el contrario si predomina el azul se dice que es fría.

En la práctica, para conseguir un ambiente “agradable” a la vista, las fuentes frías requieren niveles de iluminación mayores que las fuentes cálidas.

Las lámparas industriales y comerciales utilizadas normalmente se dividen en tres grupos de temperatura de color:

- Blanco cálido (ww). Temperatura de color inferior a los 3 300 K
- Blanco neutro (nw). Entre 3 300 y 5 000 K
- Luz día (cd). Superior a 5 000 K

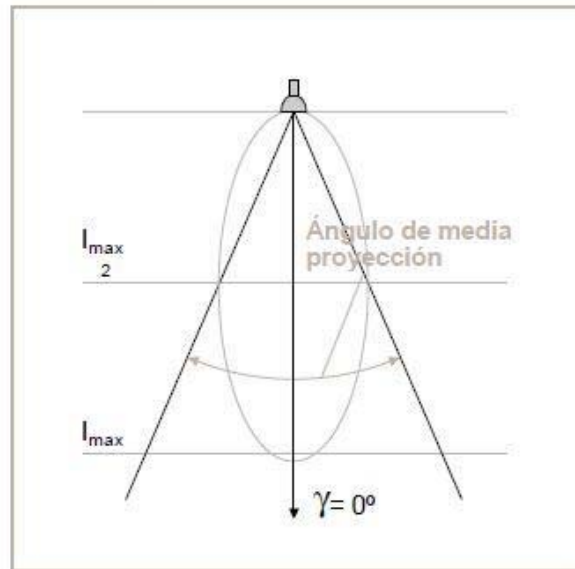
Como ejemplos extremos, una bombilla incandescente tiene una temperatura de color de 2 700 Kelvin frente a 6 000 Kelvin de un tubo fluorescente luz día.

Debe recordarse que dos fuentes de luz con la misma temperatura de color pueden tener diferentes propiedades de reproducción del color, a causa de su diferente distribución espectral.

### **2.2.8. Ángulo de media proyección**

El ángulo de media proyección es el ángulo de apertura del haz luminoso de una luminaria medido sobre la mitad de la intensidad luminosa máxima.

Figura 2. **Ángulo de media proyección**



Fuente: apéndice de manual ORNALUX, Iluminación Técnica, p. 10.

### 2.3. Diagrama de curvas polares

Mediante estas curvas se representa la distribución de la intensidad luminosa de cada luminaria, medida en diferentes planos. Los valores se expresan en candelas por lumen.

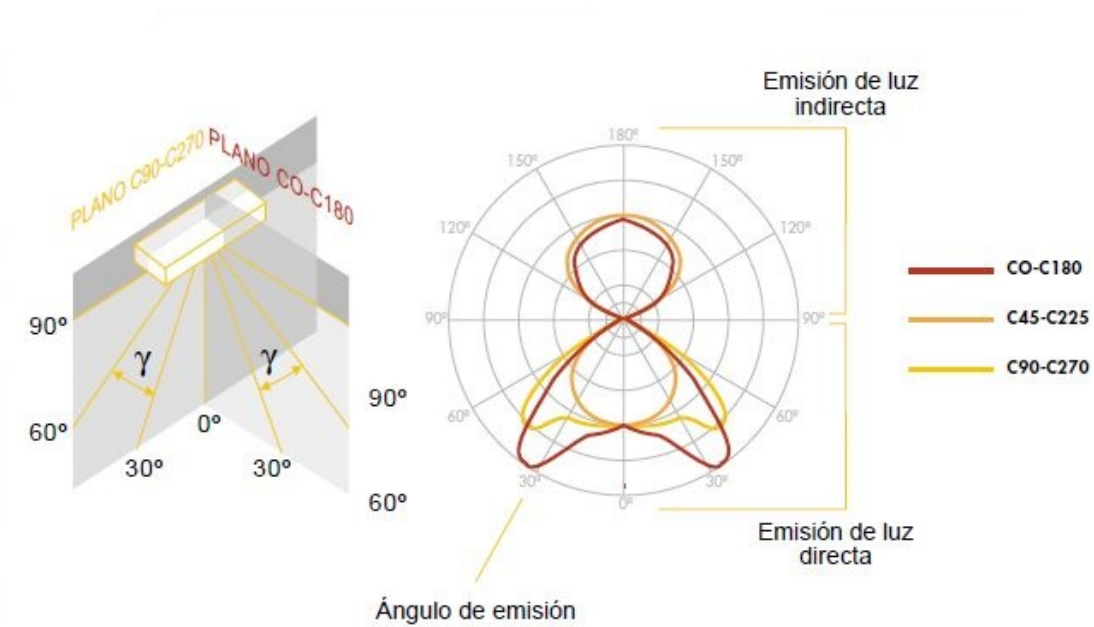
Para las distribuciones de luz simétricas sobre el eje de rotación, como es el caso de las lámparas con iluminación hacia abajo, únicamente se precisa una curva.

En los demás casos, se definen las curvas correspondientes a los tres planos especificados según el sistema CIE:



- $C_0 - C_{180}$ : Curva de color rojo. Plano transversal al eje
- $C_{45} - C_{225}$ : Curva de color naranja
- $C_{90} - C_{270}$ : Curva de color azul. Plano paralelo al eje

Figura 3. Diagrama de curvas polares



Fuente: apéndice de manual ORNALUX, Iluminación Técnica, p. 14.

#### 2.4. Factores de utilización y cálculo de luminarias

El factor de utilización  $\eta_B$  es la proporción del flujo luminoso que incide sobre la superficie a iluminar, respecto al total emitido por las lámparas empleadas. En otras palabras se dice que el factor de utilización es una medida del conjunto lámpara-luminaria y se define como el cociente entre el flujo útil que es el que llega hasta el suelo y el emitido por la lámpara.

$$\eta_B = \Phi_{\text{útil}} / \Phi_{\text{lámpara}}$$

Depende de la distribución de la intensidad luminosa y rendimiento luminoso de la luminaria, de la geometría de la habitación y de los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo.

Se utiliza para calcular de forma aproximada el número de luminarias necesarias para conseguir un nivel determinado de iluminación. Para calcular el factor de forma de la habitación, debido a que cada habitación a iluminar es distinta, se emplea la siguiente fórmula:

$$K = \frac{a \times b}{h \times (a+b)}$$

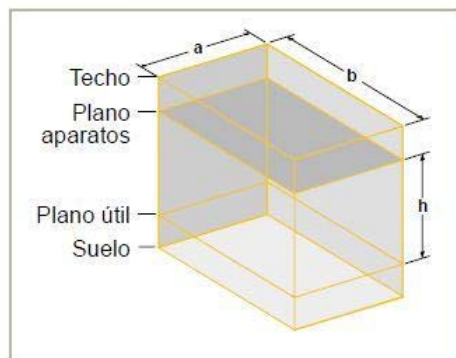
Donde:

a: longitud del local

b: ancho del local

h: altura de luminaria respecto del plano de trabajo

Figura 4. **Planos definidos en áreas de trabajo**



Fuente: apéndice de manual ORNALUX, Iluminación Técnica, p. 16.

Una vez obtenido el factor de forma del local, se puede calcular el número de luminarias necesario en función de los coeficientes de reflexión y de la luminancia media que se pretende conseguir:

$$N = E * A * p / (\Phi * \eta_B)$$

Donde:

N: número de luminarias

E: iluminancia deseada (lx)

A: superficie de la habitación (m<sup>2</sup>)

p: factor de planificación (normalmente 1,25)

Φ: flujo luminoso total de las lámparas de la luminaria (lm)

η<sub>B</sub>: factor de utilización cuyos valores están entre 10 y 100 por ciento

Tabla VIII. Factores de utilización en porcentajes

Factores de utilización en %											
Techo	0,8	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,0	
Suelo	0,5	0,5	0,3	0,7	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,0	
Pared	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	
Factor de forma K	0,60	32	31	27	37	31	27	30	27	26	23
	0,80	39	37	33	43	37	33	35	32	32	29
	1,00	43	41	38	46	41	37	39	36	36	33
	1,25	49	46	43	50	46	43	43	41	40	38
	1,50	52	49	46	53	49	46	46	44	43	40
	2,00	56	52	50	55	52	49	49	47	46	44
	2,50	59	55	53	57	55	52	51	49	49	46
	3,00	62	57	55	59	57	55	52	51	50	48
	4,00	64	59	57	60	58	56	54	53	52	50
	5,00	66	60	58	61	59	58	55	54	53	51
Coeficiente de utilización											

Fuente: apéndice de manual ORNALUX, Iluminación Técnica, p. 26.

## 2.5. Lámparas CFL

La lámpara compacta fluorescente o CFL (por sus siglas en inglés *compact fluorescent lamp*), es un tipo de lámpara fluorescente que se puede usar en plafonera de rosca Edison normal (E27) o pequeña (E14). También se le conoce como:

- Lámpara ahorradora de energía
- Lámpara de luz fría
- Lámpara de bajo consumo
- Bombilla de bajo consumo

En comparación con las lámparas incandescentes, las CFL tienen una vida útil mayor y consumen menos energía eléctrica para producir la misma iluminación. De hecho, las lámparas CFL ayudan a ahorrar costos en facturas de electricidad, compensando así su alto precio. Este ahorro sucede ya dentro de las primeras 500 horas de uso.

Presentadas mundialmente a principios de los años ochenta, las ventas de las lámparas CFL se han incrementado constantemente debido a las mejoras en su funcionamiento y la reducción de sus precios. El más importante avance en la tecnología de las lámparas fluorescentes (incluidas las CFL), ha sido el remplazo de los balastos magnéticos o cebadores (transformadores usados para su encendido) por los del tipo electrónico.

Este remplazo ha permitido la eliminación del efecto de “parpadeo” y del lento encendido tradicionalmente asociados a la iluminación fluorescente, así como un ahorro de peso de la propia lámpara. Lo más importante es que son de fácil remplazo por una incandescente, así como su precio que ha bajado

considerablemente en los últimos años. Las CFL tienen una duración media de unas 8 000 horas de funcionamiento.

La duración media de una lámpara incandescente está entre 500 y 2 000 horas de funcionamiento dependiendo de su exposición a picos de tensión, golpes y vibraciones mecánicas, además de la calidad de la propia lámpara. Esto mejora en los nuevos modelos.

Las CFL consumen aproximadamente una cuarta parte de la potencia de las incandescentes. Por ejemplo, una CFL de 15 watts produce la misma luminosidad que una incandescente de 75 watts, es decir, que el rendimiento luminoso de la CFL es de aproximadamente 56-60 lúmenes por watt.

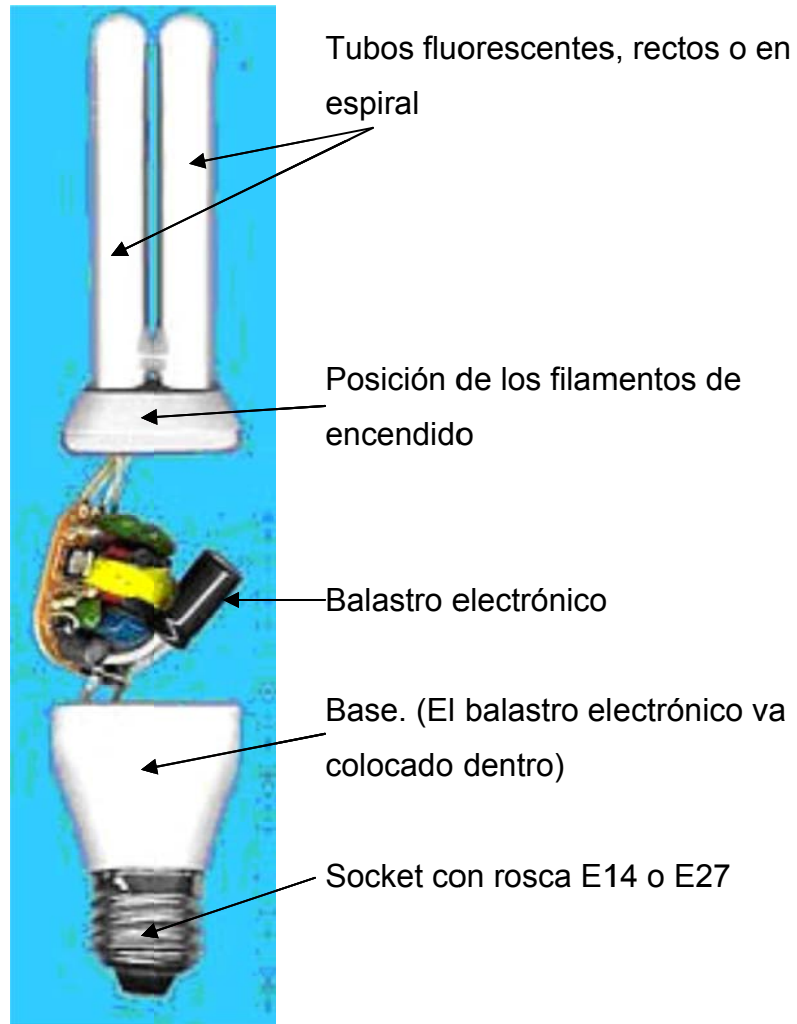
Esto vuelve a las CFL bastante eficientes. A continuación se muestran las partes de una CFL en su interior.

## **2.6. Partes de una lámpara compacta fluorescente CFL**

En la actualidad se pueden encontrar lámparas fluorescentes de todas las potencias y tamaños. Las lámparas fluorescentes compactas que predominan en el mercado son las que tienen forma de espiral y se encuentran entre los 20 watts y 30 watts.

Toda la electrónica de la lámpara fluorescente compacta se puede encontrar de una forma comprimida en su interior, por lo que vale la pena abrir una de estas lámparas y observar sus componentes internos. Constan de las siguientes partes:

Figura 5. **Partes de una lámpara CFL**



Fuente: Así funciona la lámpara CFL. p. 3.

### 2.6.1. **El tubo fluorescente**

En todas las lámparas fluorescentes compactas CFL existen siempre dos filamentos de tungsteno o wolframio (W) alojados en los extremos libres del tubo con el propósito de calentar los gases inertes como el neón (Ne), el kriptón (Kr) o el argón (Ar), que se encuentran alojados en el interior de los

tubos. Junto con los gases inertes, el tubo también contiene vapor de mercurio (Hg). Las paredes del tubo se encuentran recubiertas por dentro con una fina capa de fósforo.

Figura 6. **Filamentos colocados dentro de los tubos de una lámpara fluorescente compacta CFL**



Fuente: Así funciona la lámpara CFL. p. 3.

## **2.7. Funcionamiento de lámparas fluorescentes compactas CFL**

El funcionamiento de una lámpara fluorescente ahorradora de energía CFL es el mismo que el de un tubo fluorescente común, excepto que es más pequeño y manuable.

Cuando se enrosca la lámpara fluorescente compacta CFL en un plafonero (igual al que utilizan la mayoría de las lámparas incandescentes) y se acciona el interruptor de encendido, la corriente eléctrica alterna fluye hacia el balastro electrónico, donde un rectificador de diodos de onda completa se encarga de convertirla en corriente directa y mejorar, a su vez, el factor de potencia de la lámpara.

A continuación un circuito oscilador, compuesto fundamentalmente por un circuito transistorizado en función de amplificador de corriente, un enrollado o transformador (reactancia inductiva) y un capacitor o condensador (reactancia capacitiva), se encarga de originar una corriente alterna con una frecuencia, que llega a alcanzar entre 20 mil y 60 mil ciclos o Hertz por segundo.

La función de esa frecuencia tan elevada es disminuir el parpadeo que provoca el arco eléctrico que se crea dentro de las lámparas fluorescentes cuando se encuentran encendidas.

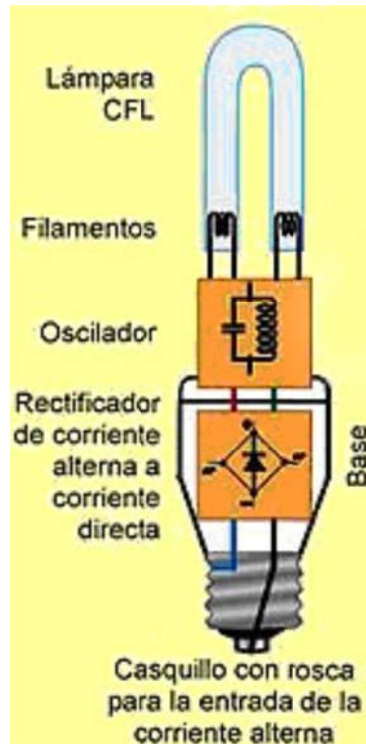
De esa forma se anula el efecto estroboscópico que normalmente se crea en las antiguas lámparas fluorescentes de tubo recto, que funcionan con balastos magnéticos.

En las lámparas fluorescentes antiguas el arco que se origina posee una frecuencia de solo 60 Hertz, la misma que le proporciona la red.

En Europa se utiliza una frecuencia de 50 Hertz, mientras que los países para Latinoamérica y Estados Unidos de Norte América se estandarizó la frecuencia a 60 Hertz.



Figura 7. Diagrama de bloques de una lámpara fluorescente compacta



Fuente: así funciona la lámpara CFL. p. 5.

Para el alumbrado general, el efecto estroboscópico es prácticamente imperceptible, pero en una industria donde existe maquinaria funcionando, impulsadas por motores eléctricos, puede resultar peligroso debido a que la frecuencia del parpadeo de la lámpara fluorescente se puede sincronizar con la velocidad de giro de las partes móviles de las máquinas, creando la ilusión óptica de que no están funcionando, cuando en realidad se están moviendo.

En las lámparas fluorescentes compactas CFL no se manifiesta ese fenómeno, pues al ser más alta la frecuencia del parpadeo del arco eléctrico en

comparación con la velocidad de giro de los motores, nunca llegan a sincronizarse ni a crear efecto estroboscópico.

Desde el mismo momento en que los filamentos de una lámpara fluorescente compacta CFL se encienden, el calor que producen ioniza el gas inerte que contiene el tubo en su interior, creando un puente de plasma entre los dos filamentos. A través de ese puente se origina un flujo de electrones, que proporcionan las condiciones necesarias para que el balastro electrónico genere una chispa y se encienda un arco eléctrico entre los dos filamentos. En este punto del proceso los filamentos se apagan y se convierten en dos electrodos, cuya misión será la de mantener el arco eléctrico durante todo el tiempo que permanezca encendida la lámpara.

El arco eléctrico no es precisamente el que produce la luz en estas lámparas, pero su existencia es fundamental para que se produzca ese fenómeno. A partir de que los filamentos de la lámpara se apagan, la única misión del arco eléctrico será continuar y mantener el proceso de ionización del gas inerte. De esa forma los iones desprendidos del gas inerte al chocar contra los átomos del vapor de mercurio contenido también dentro del tubo, provocan que los electrones del mercurio se exciten y comiencen a emitir fotones de luz ultravioleta.

Dichos fotones, cuya luz no es visible para el ojo humano, al salir despedidos chocan contra las paredes de cristal del tubo recubierto con la capa fluorescente. Este choque de fotones ultravioletas contra la capa fluorescente provoca que los átomos de flúor se exciten también y emitan fotones de luz blanca, que sí son visibles para el ojo humano, haciendo que la lámpara se encienda.

El impacto de los electrones que se mueven por el puente de plasma contra los dos electrodos situados dentro del tubo, hace que estos se mantengan calientes (a pesar de que los filamentos se encuentran ya apagados). Mantener caliente esos dos electrodos se hace necesario para que la emisión de electrones continúe y el puente de plasma no se extinga. De esa forma, tanto el ciclo de excitación de los átomos de vapor de mercurio como el de los átomos de fósforo dentro del tubo continúa, hasta que se active de nuevo el interruptor que apaga la lámpara y deje de circular la corriente eléctrica por el circuito.

La vida útil de una lámpara fluorescente se reduce o termina por los siguientes motivos:

- Desgaste de la sustancia emisora que recubre el filamento de tungsteno compuesta de calcio (Ca) y magnesio (Mg).
- Pérdida de la eficacia de los polvos fluorescentes que recubren el interior del tubo.
- En sus extremos, el tubo se empieza a poner negro debido al excesivo número de veces que se enciende y apaga de forma habitual la lámpara en períodos cortos de tiempo.

## **2.8. Características de las lámparas fluorescentes compactas CFL**

- Son compatibles con *sockets* de las lámparas incandescentes de uso común.

- Al igual que las lámparas incandescentes, sólo hay que enroscarlas en el plafonero, pues no requieren de ningún otro dispositivo adicional para funcionar.
- Disponibles en tonalidades luz de día (*day light*) y blanco frío (*cool white*), para poder escoger el color que mejor se adecúe a la situación.
- Encendido instantáneo con una luz tenue por breves instantes al principio antes que alcance su máxima intensidad.
- Un precio mayor que el de una lámpara incandescente de igual potencia, pero que se compensa después con el ahorro que se obtiene por menor consumo eléctrico y por un tiempo de vida útil más prolongado.
- Ahorro en el consumo eléctrico. Consumen sólo la 1/5 parte de la energía eléctrica que requiere una lámpara incandescente para alcanzar el mismo nivel de iluminación, es decir, consumen un 80 por ciento menos para igual eficacia en lúmenes por *watt* de consumo.
- Generan 80 por ciento menos calor que las incandescentes, es prácticamente nulo el riesgo de provocar incendios por calentamiento, si por cualquier motivo llegaran a encontrarse muy cerca de materiales combustibles. Esto quiere decir también, que la mayor parte de su energía se disipa en luz visible y no en calor, que es al final el propósito principal de una luminaria eficiente.
- Ocupan casi el mismo espacio que una lámpara incandescente.

- Tienen un flujo luminoso mucho mayor en lúmenes por *watt* comparadas con una lámpara incandescente de igual potencia.
- Se pueden adquirir con diferentes formas, bases, tamaños, potencias y tonalidades de blanco.

## **2.9. Principales datos a tomar en cuenta al adquirir lámparas fluorescentes compactas CFL**

- Marca de fabricante reconocida.
- Tensión o voltaje de trabajo (120 voltios ó 240 voltios, según el país).
- Lúmenes por *watt*.
- Consumo en *watt*.
- Tipo de aplicación para la cual se recomienda su uso.
- Tonalidad de luz que emite, luz de día o blanco frío. Si tuviera el dato de Kelvin sería mejor.
- Tipo de rosca (E-27 ó E-14).
- Distribución luminosa por medio de diagramas de curvas polares incluidos en el empaque.
- Precio. Este último dependerá de la marca y de la cantidad de horas de vida que ofrece el fabricante.

### **2.9.1. Marcas de lámparas fluorescente compactas CFL**

Las marcas de lámparas fluorescentes compactas encontradas en nuestro país son:

- PHILIPS
- STARLITE
- SYLVANIA
- OSRAM
- GENERAL ELECTRIC
- LUXLITE
- ENERGY SAVER
- ECO LIGHT

Todas estas marcas ofrecen una vida útil de sus productos que van desde las 6 000 horas hasta las 10 000 horas.

### **2.9.2. Tipos de lámparas fluorescentes compactas CFL**

El mercado guatemalteco cuenta con una gran variedad de lámparas y precios, dentro de las cuales se pueden encontrar los siguientes tipos:

- 3U y 4U
- BALA
- REFLECTOR
- ESPIRAL
- MINIESPIRAL
- GLOBO
- ARO

### **2.9.3. Precios de lámparas fluorescentes compactas CFL**

A continuación se presentan algunas características incluyendo precios de lámparas fluorescentes compactas encontrados en tiendas de materiales eléctricos, sin embargo estos precios pueden variar dependiendo la tienda.

Todas se encuentran en rosca tipo E-27, que es la más utilizada en el mercado guatemalteco.

Figura 8. **Lámpara CFL 1**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 4.

Figura 9. **Lámpara CFL 2**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 5.

Figura 10. **Lámpara CFL 3**



Fuente Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 6.



Figura 11. **Lámpara CFL 4**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 7.

Figura 12. **Lámpara CFL 5**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 8.

Figura 13. **Lámpara CFL 6**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 9.

Figura 14. **Lámpara CFL 7**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 10.

Figura 15. **Lámpara CFL 8**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 11.

Figura 16. **Lámpara CFL 9**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 12.

Figura 17. **Lámpara CFL 10**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 13.

Figura 18. **Lámpara CFL 11**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 14.

Figura 19. **Lámpara CFL 12**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 15.

Figura 20. **Lámpara CFL 13**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 16.

Figura 21. **Lámpara CFL 14**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 17.

Figura 22. **Lámpara CFL 15**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 18.

Figura 23. **Lámpara CFL 16**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 19.

#### **2.9.4. Elección de la lámpara fluorescente compacta adecuada**

Después de haber estudiado una amplia gama de lámparas fluorescentes compactas ofertadas en el mercado guatemalteco, se optó por utilizar la última antes mencionada:

Figura 24. **Características CFL elegida**



Fuente: Manual digital de lámparas ahorradoras de energía CFL de SERPINE, p. 20.

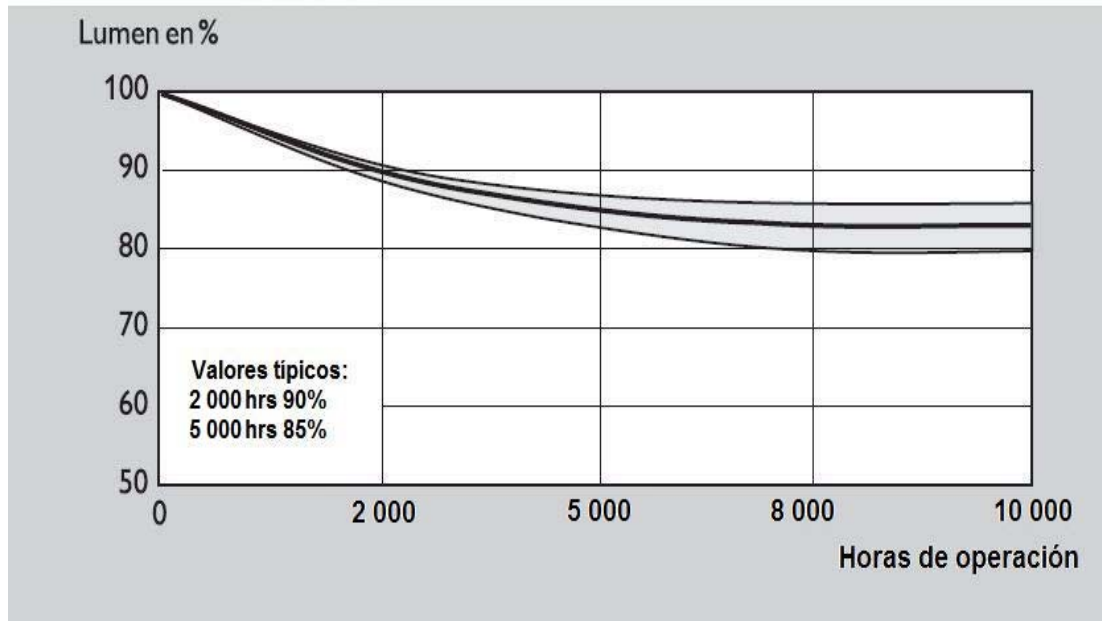
Ventajas de la lámpara fluorescente compacta CFL seleccionada:

- Balastro electrónico incorporado de alta eficiencia.
- Usa solo 32 *watts* equivalentes a 150 *watts* de iluminación incandescente.
- Su flujo luminoso es aproximadamente de 1 200 lúmenes.
- Fácil de instalar y remplazar, así como poco mantenimiento requerido.
- Cuenta con una vida útil de aproximadamente 8 000 horas.



- Debido a que utiliza tecnología T5, contiene 3 veces más fósforo que los tubos tradicionales T10 y T12, así como menor cantidad de mercurio que es dañino para el medio ambiente.
- Temperatura de color arriba de los 6 000 grados Kelvin ideal para tareas visuales de alta concentración según lo requerido por la Norma DIN 5035.
- Su encendido es instantáneo, eliminando el parpadeo molesto al encender de las lámparas tradicionales con *starter*.
- Su iluminación es agradable a la percepción humana, ya que elimina el zumbido, parpadeo y efecto estroboscópico.
- Su índice de reproducción cromática (Ra) es mayor a 80, logrando así una alta fidelidad en la reproducción de color como lo exige la Norma DIN 5035.
- Está al alcance del bolsillo (Q. 22,00) y se ha vuelto muy comercial, así como la tendencia que tiene este modelo de lámpara fluorescente compacta a evolucionar cada vez más.

Figura 25. **Diagrama de la iluminación media horizontal mantenida  $E_m$  de la luminaria elegida**



Fuente: Guide to DIN EN 12464-1, *lighting of work places*.

### **3. DESARROLLO DEL PROYECTO DE ILUMINACIÓN EN EL CAMPO**

Como parte del estudio de práctica supervisada, se desarrolló un proyecto de iluminación en la Escuela Normal Intercultural de Amatitlán, en donde se tuvo la oportunidad de aplicar la Norma DIN 5035 y mejorar la iluminación del establecimiento, beneficiando así a más de 250 personas entre docentes y estudiantes.

#### **3.1. La Escuela Normal Intercultural de Amatitlán**

La Escuela Normal Intercultural de Amatitlán, es un establecimiento oficial que está ubicada en la 2ª avenida, 7-35 en el barrio San Antonio de Amatitlán, Guatemala. Su director es el licenciado Oscar Augusto Díaz Ramos, quien está a cargo del plantel desde su inauguración en 2002. Comparten el mismo edificio con la empresa de Correos de Guatemala y la Supervisión del Magisterio. Este edificio se construyó aproximadamente entre los años 1950 y 1960.

El problema principal que enfrentan con la iluminación, es que no cuentan con un plan de mantenimiento preventivo ni correctivo de lámparas. Actualmente tienen instaladas lámparas fluorescentes con balastos magnéticos de 2 x 40 *watts* y 4 x 40 *watts*, considerándola una tecnología antigua y obsoleta. Los componentes que pueden fallar en estas lámparas son: balastos, bases, tubos empalmes y *starters* donde son requeridos.

El tubo que se usa para esta lámpara es el T12, volviéndose una tecnología bastante ineficiente debido a las siguientes características:

- Introducido en 1940.
- 55 lúmenes por *watt* en promedio, muy por debajo de una CFL.
- Usa balastro magnético a diferencia de una CFL que utiliza balastro electrónico silencioso.
- Su índice de rendimiento cromático está por debajo de 70.
- Utiliza mucho más mercurio que una CFL, siendo este dañino para el medio ambiente y el ser humano. En la actualidad se exige no más de 5 miligramos de mercurio por CFL fabricada, anteriormente no era así pues no se tenía un estricto control.
- Su encendido no es instantáneo como una CFL y puede fallar con mayor frecuencia debido a las bases donde se instalan los tubos.

La altura promedio de la escuela excede los 4 metros, volviéndose muy difícil y peligroso cambiar tubos dañados con una simple escalera. La forma más segura y correcta es hacer los mantenimientos con 2 secciones de andamios de 1,50 metros cada una.

Utilizar arneses de seguridad y equipo adecuado para este tipo de trabajo. El último mantenimiento del que se tiene registro fue hace 4 años, realizado por la Municipalidad de Amatlán.

La escuela cuenta con los siguientes salones divididos en las siguientes áreas:

Tabla IX. **Áreas de salones en el instituto**

<b>Salón</b>	<b>Área</b>
Cuarto Magisterio	46.5 m <sup>2</sup>
Quinto Magisterio	45 m <sup>2</sup>
Sexto Magisterio	33,75 m <sup>2</sup>
Salón de Docencia	13,75 m <sup>2</sup>
Dirección	21 m <sup>2</sup>
Salón de música	37 m <sup>2</sup>
Bodega y baños	38 m <sup>2</sup>
Pasillos restantes y patio central	230 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>455 m<sup>2</sup></b>

Fuente: Instituto Intercultural de Amatlán, diciembre 2010.

De todas estas áreas, las más importantes para cambiar la iluminación antigua por lámparas fluorescentes compactas son 4º magisterio y 6º magisterio por dos razones:

- Son las aulas con mayor número de estudiantes, aproximadamente 75 por cada una.
- Son las aulas con la mayor altura de toda la escuela (4 metros), por lo que cambiar una lámpara de rosca E-27 resulta más sencillo que cambiar cualquier otro tipo de lámpara fluorescente con tubos T5, T8 o T12 existentes en el mercado.

Se optó por reinstalar en 5° magisterio las lámparas fluorescentes desmontadas en 4° y 6° magisterio (reparadas con bases y tubos nuevos), ya que este salón tiene una altura de 2,80 metros, volviéndose así mucho más fácil el mantenimiento de este tipo de iluminación.

### **3.2. Cálculo del presupuesto**

Se solicitó patrocinio a distintas empresas para la realización de este trabajo, pero las dos únicas empresas que colaboraron fueron:

- Electrotecnia Comercial e Industrial
- Servicios Profesionales de Ingeniería Eléctrica

El cálculo que se planteó a las empresas patrocinadoras fue el siguiente:

- Instalar 16 lámparas CFL en 4° magisterio y 12 en 6° magisterio.
- Reparar el restante de lámparas fluorescentes con tubos T8 de 2x40 *watts* y reubicarlas en 5° magisterio para llegar a un nivel de iluminación de 250

luxes promedio en cada aula con opción a aumentar en un 30 por ciento como la Norma DIN 5035 lo requiere para un establecimiento educativo.

- Si sobra tiempo, reparar los salones restantes de docencia, música y dirección, así como pasillos y baños.

Tabla X. **Costo del proyecto de remodelación**

<b>RUBRO</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
28 Lámparas CFL	Q. 25,00	Q. 700,00
3 Personas (Q. 150,00 x día)	Q. 450,00 x día	
6 Días de trabajo (1 semana hábil)	Q. 450,00	Q. 2 700,00
Material eléctrico y combustible	Q. 600,00	Q. 600,00
<b>TOTAL</b>		<b>Q. 4 000,00</b>

Fuente: Electrotecnia Comercial e Industrial.

Se empezó con la recolección de datos, mediciones y toma de fotografías. Después se coordinó con las empresas que ayudarían en el proyecto, donando equipo, mano de obra y materiales eléctricos, así como herramientas, andamios y escaleras. Después de esto se procedió a la compra de las lámparas y su instalación. Y por último se verificaron los niveles de iluminación en todas las áreas para verificar que habían llegado al punto deseado.

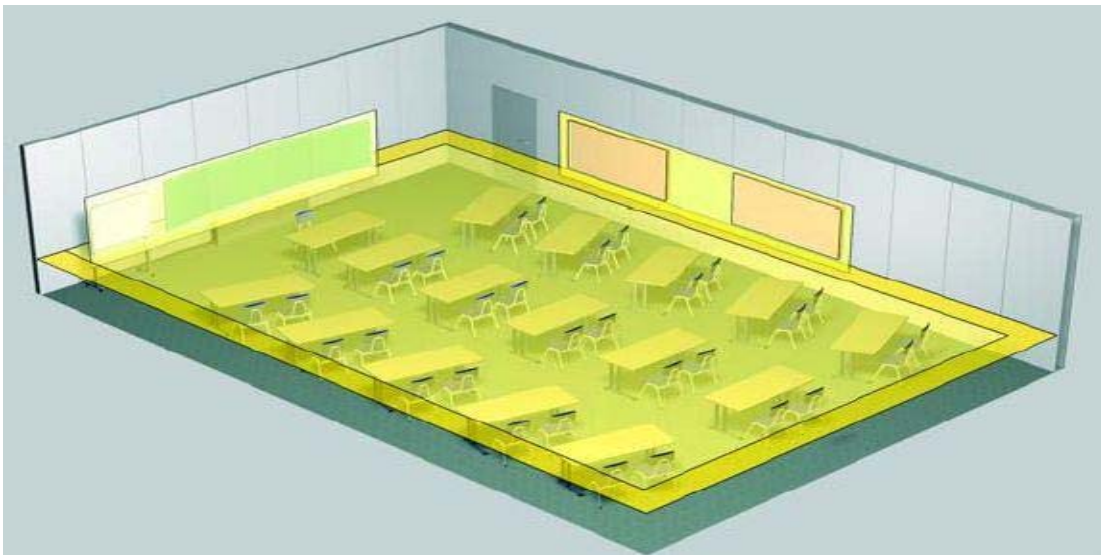
### **3.3. Trabajos realizados en cuarto magisterio**

Este salón es el más grande, ya que cuenta con 46,5 metros cuadrados. Con ayuda de 2 luxómetros digitales prestados por una de las empresas

colaboradoras, se tomaron datos en distintos puntos del salón para determinar el nivel de iluminación antes de la remodelación. A continuación se muestra la figura 26 que es bastante parecida al aula de 4º magisterio con un plano de trabajo definido en color amarillo sobre los escritorios.

De esta misma manera se seleccionó el plano de trabajo a 0,85 metros sobre el suelo, que es la altura de un escritorio en el aula y no al nivel del suelo como muchas veces se hace erróneamente.

Figura 26. **Ejemplo de plano de trabajo en color amarillo**



Fuente: *Guide to DIN EN 12464-1, lighting of work places.*

Este mismo concepto se tomó para todas las mediciones que se hicieron en las aulas y demás lugares de trabajo en el instituto.



Figura 27. **Luxómetros sobre los escritorios**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, diciembre 2010.

Figura 28. **Medición al frente del salón**



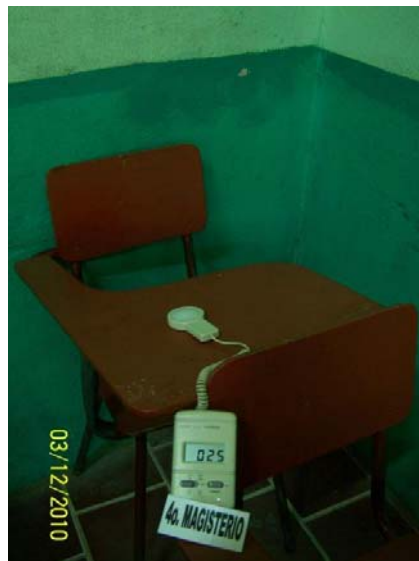
Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, diciembre 2010.

Figura 29. **Medición atrás en el salón, lado izquierdo**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

Figura 30. **Medición atrás en el salón, lado derecho**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

Como se puede observar en las figuras anteriores, ninguna de las mediciones cumplen con el nivel mínimo de iluminación aceptable, que es de 200 luxes.

Utilizando el software gratuito DIALux versión 4,8 se hizo el cálculo de las luminarias necesarias para poder llegar a una iluminancia de 200 luxes como mínimo en todo el salón.

### **3.3.1. Resultados obtenidos utilizando DIALux versión 4,8**

Con el fin de calcular la cantidad de luminarias necesarias para obtener una iluminancia mínima de 200 luxes, así como una distribución uniforme de todas las luminarias, se deben introducir algunos parámetros conocidos del salón, tales como medidas (largo, ancho y altura), altura de trabajo, factores de reflexión del techo, paredes y piso, factor de mantenimiento (limpio o sucio) y factor de utilización, entre otros.

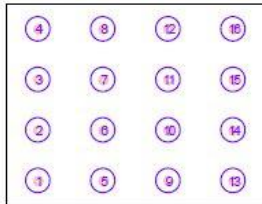
Se debe ser lo más preciso y exacto al obtener estos datos, ya que de esto dependen los resultados que el *software* entregue para posteriormente analizarlos e interpretarlos.

Después de introducir estos datos, el *software* arroja varios resultados importantes de una forma ordenada y precisa, los cuales se muestran a continuación.

Tabla XI. **Coordenadas de las luminarias de quinto magisterio**

**DIAL 6 Optikleuchten**

3200 lm, 32.0 W, 1 x 1 x User defined (Correction Factor 1.000).



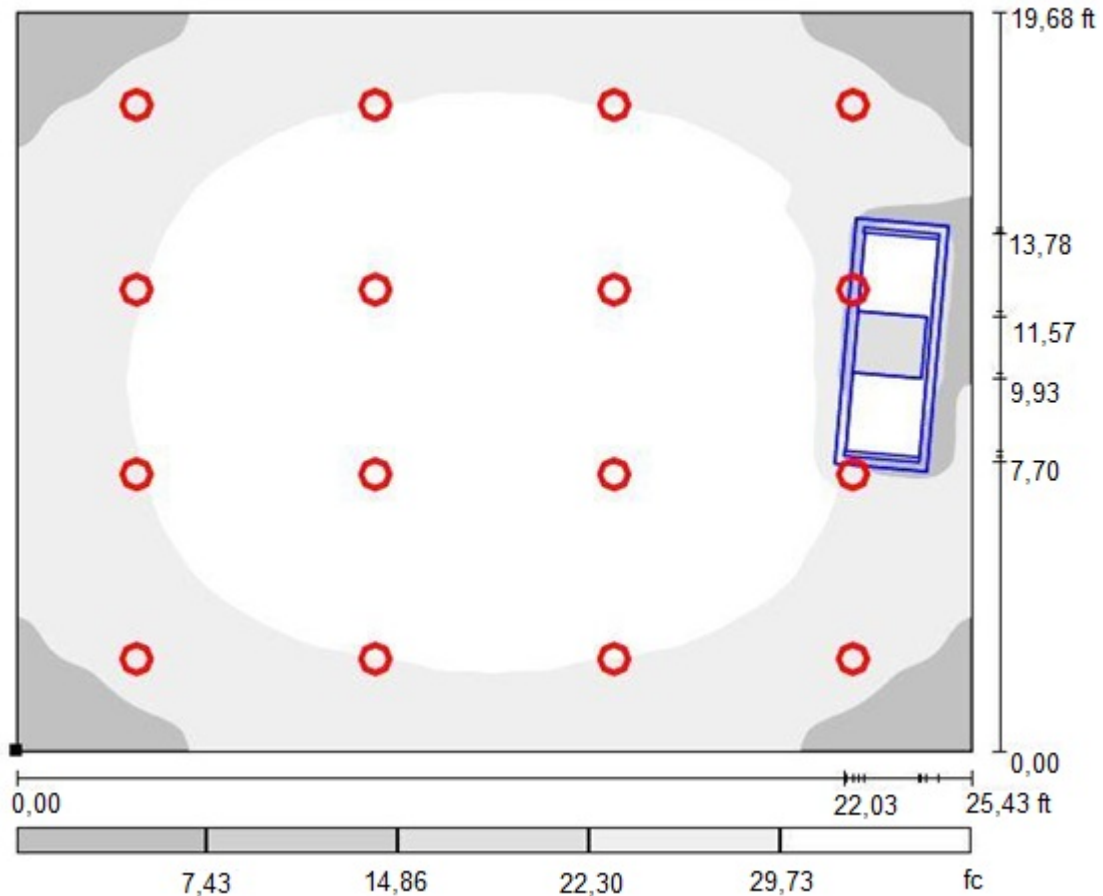
No.	Position [ft]			Rotation [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	3.180	2.460	13.120	0.0	0.0	90.0
2	3.180	7.380	13.120	0.0	0.0	90.0
3	3.180	12.300	13.120	0.0	0.0	90.0
4	3.180	17.220	13.120	0.0	0.0	90.0
5	9.540	2.460	13.120	0.0	0.0	90.0
6	9.540	7.380	13.120	0.0	0.0	90.0
7	9.540	12.300	13.120	0.0	0.0	90.0
8	9.540	17.220	13.120	0.0	0.0	90.0
9	15.900	2.460	13.120	0.0	0.0	90.0
10	15.900	7.380	13.120	0.0	0.0	90.0
11	15.900	12.300	13.120	0.0	0.0	90.0
12	15.900	17.220	13.120	0.0	0.0	90.0
13	22.260	2.460	13.120	0.0	0.0	90.0
14	22.260	7.380	13.120	0.0	0.0	90.0
15	22.260	12.300	13.120	0.0	0.0	90.0
16	22.260	17.220	13.120	0.0	0.0	90.0

Fuente: *Software* DIALux versión 4,8 de internet.

En esta tabla se muestran distintos datos muy valiosos. Por ejemplo, según el *software*, son necesarias 16 luminarias de 32 *watts* para llegar a una iluminancia mínima de 200 luxes en todo el salón. Luego se muestra una distribución física de las 16 luminarias, las cuales están numeradas del 1 al 16.

Después se muestran la distribución de cada una de las 16 luminarias con coordenadas en X, Y y Z, siendo X el ancho, Y el largo y Z la altura del salón. Estas medidas están dadas en pies. También se muestra la rotación de cada luminaria con respecto a cada eje, sin embargo, por ser una luminaria redonda, su rotación es de 0 grados con respecto a los ejes X y Y.

Figura 31. **Escala de grises**

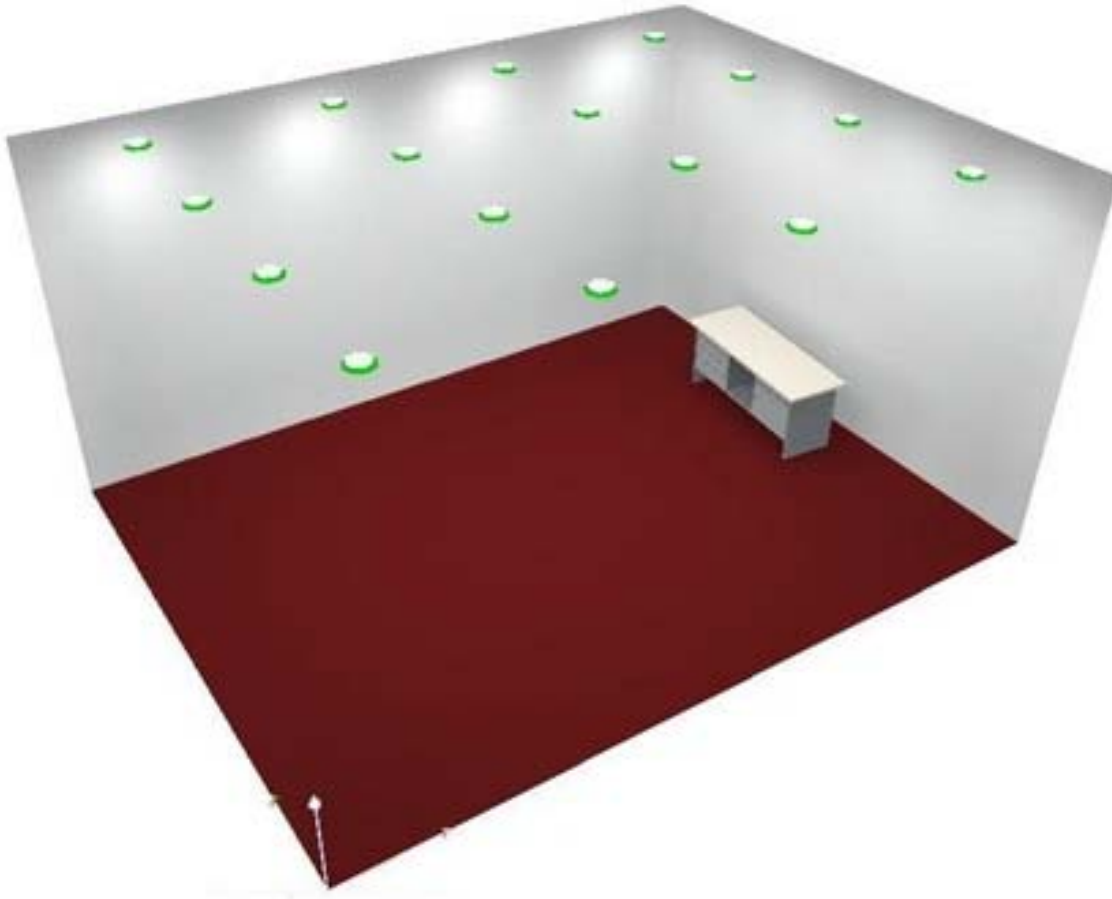


Fuente: *Software DIALux* versión 4,8 de internet.

A esta figura se le denomina escala de grises. Lo que nos indica es la distribución de los pies-candela en todo el salón debido a cada una de las 16 luminarias.

Se puede notar que según este diagrama, las esquinas del salón serán las más oscuras con aproximadamente 7 pies-candelas, equivalentes a 70 luxes, mientras que el centro del salón debería estar por encima de los 30 pies-candela, equivalente a 300 luxes. Con esta distribución se le está garantizando a la mayoría de los estudiantes una iluminancia mínima de 200 luxes.

Figura 32. **Ilustración final en 3D de las luminarias**



Fuente: *Software DIALux* versión 4,8 de internet.

Por último, se muestra una ilustración en 3D de cómo se vería el salón con todas las luminarias instaladas tal y como el programa lo recomendó.

Después de haber obtenido estos resultados se procedió con la instalación de las 16 luminarias tal y como el programa DIALux lo recomendaba.

### 3.3.2. Instalación de luminarias

Antes de iniciar con la instalación de las nuevas luminarias, se tomaron algunas fotografías de la antigua instalación.

Figura 33. Iluminación original del salón de clases



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

Para un salón de 46,5 metros cuadrados originalmente habían 3 lámparas fluorescentes, cada una con 2 luminarias de 40 *watts*, esto hace un total de 240 *watts*. Se procedió a vaciar el salón de clase para poder armar un andamio de 2 secciones y así empezar a remover las lámparas originales. No existe otra manera segura de acceder a las lámparas si no es con un andamio,

por lo que reparar una de estas lámparas resultaba muy difícil en tiempo de clases. Una vez removidas las lámparas antiguas, se procedió a diseñar una especie de reticulado con hilo de color azul sobre el techo, para poder marcar los puntos de intersección y así lograr una instalación lo más exacto posible acorde al cálculo obtenido por el programa DIALux.

Figura 34. **Marcaje de las plafoneras**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, enero 2011.



Una vez marcados los 16 puntos, se procedió a la instalación de las plafoneras con rosca E-27, de tal manera que las medidas coincidieran exactamente con las del plano obtenido a partir del programa DIALux.

Figura 35. **Instalación de plafoneras**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, Enero 2011.

Se puede observar a dos trabajadores de la empresa colaboradora Electrotecnia Comercial e Industrial instalando las plafoneras en los lugares según los puntos marcados anteriormente.

El andamio y las herramientas pertenecen a la empresa colaboradora Servicios Profesionales de Ingeniería Eléctrica.

Figura 36. **Vista final de las plafoneras instaladas**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, enero 2011.

Figura 37. **Vista final de las luminarias instaladas y energizadas**

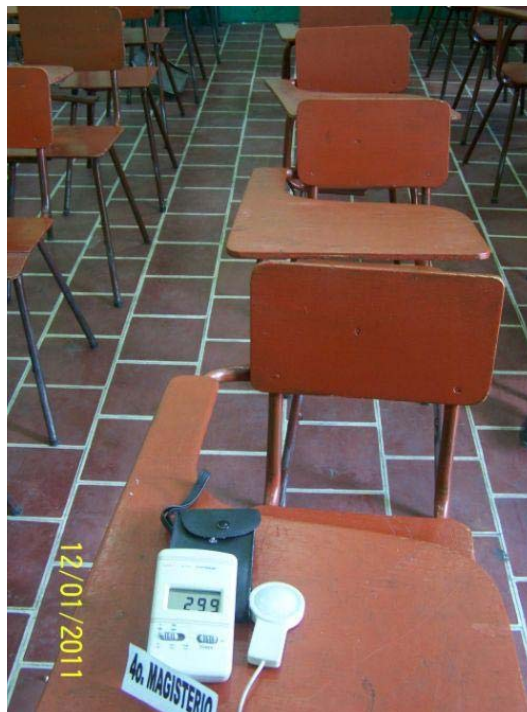


Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, enero 2011.

En esta figura se puede apreciar la nueva disposición de luminarias instaladas, en contraste con las marcas sobre el techo de madera de las antiguas lámparas que originalmente fueron instaladas en el aula. Una vez finalizada la instalación en el primer salón, se procedió a corroborar la iluminancia en los mismos puntos donde originalmente se midió con la iluminación antigua.

La iluminación que finalmente quedó es de 16 luminarias x 32 *watts*. Esto equivale a 512 *watts*, siendo esto más del doble de la cantidad original que se tenía de 240 *watts*. Así mismo se logró una iluminación más uniforme, distribuida por todo el salón de clase.

Figura 38. **Medición al frente del salón**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, enero 2011.

La figura 29 muestra la medición inicial que se hizo antes de la remodelación, donde el luxómetro marcaba 144 luxes, mientras que la figura 39 muestra la nueva medición después de la remodelación y el equipo revela que hay 299 luxes con la nueva instalación de luminarias. Estos valores demuestran que la iluminación se mejoró en un 108 por ciento, al menos en la parte del centro y frontal del salón.

Pero se deben medir las áreas más críticas, como las partes que se encuentran atrás del salón, tanto el lado izquierdo como el lado derecho. Las figuras a continuación muestran estas mediciones.

Figura 39. **Medición atrás en el salón, lado izquierdo**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, enero 2011.

Figura 40. **Medición atrás en el salón, lado derecho**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, enero 2011.

La figura 29 muestra la medición original, antes de la remodelación que es de 36 luxes. Mientras que la figura 39 muestra la nueva iluminancia que es de 177 luxes. Esto hace que la iluminación en esta parte haya mejorado 4,92 veces de lo que originalmente se tenía.

La figura 40 muestra también la medición original que era de 25 luxes. Con la nueva iluminación se alcanzaron los 132 luxes. Esto hace que la iluminación haya mejorado 5,28 veces. Se escogieron estos dos puntos, ya que están marcados como críticos dentro del diagrama de grises que el programa DIALux nos dio. Estos lugares también son ocupados por alumnos debido a la

gran demanda que existe. Sin embargo, aunque la iluminancia aún no es la óptima, se logró mejorar considerablemente con el cambio de luminarias implementado.

### 3.4. Trabajos realizados en sexto magisterio

Este salón no es tan grande como cuarto Magisterio, solo tiene 33,75 metros cuadrados. Sin embargo se decidió continuar con este salón, por tener la misma altura que el anterior, 4 metros. Se siguió usando la misma metodología que se usó anteriormente y se tomó el mismo plano de trabajo que se muestra en la figura 26. Como primer paso se tomaron fotografías con las iluminancias medidas por los luxómetros en distintas áreas, tanto al frente como al fondo del salón. Luego se procedió a ingresar los datos en el programa DIALux para el cálculo de la cantidad requerida de lámparas compactas fluorescentes. A continuación se muestran las figuras con los datos iniciales tomados por el luxómetro.

Figura 41. Luxómetro tomando datos al frente del salón



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

Figura 42. **Ampliación de la figura 24 para mayor claridad**

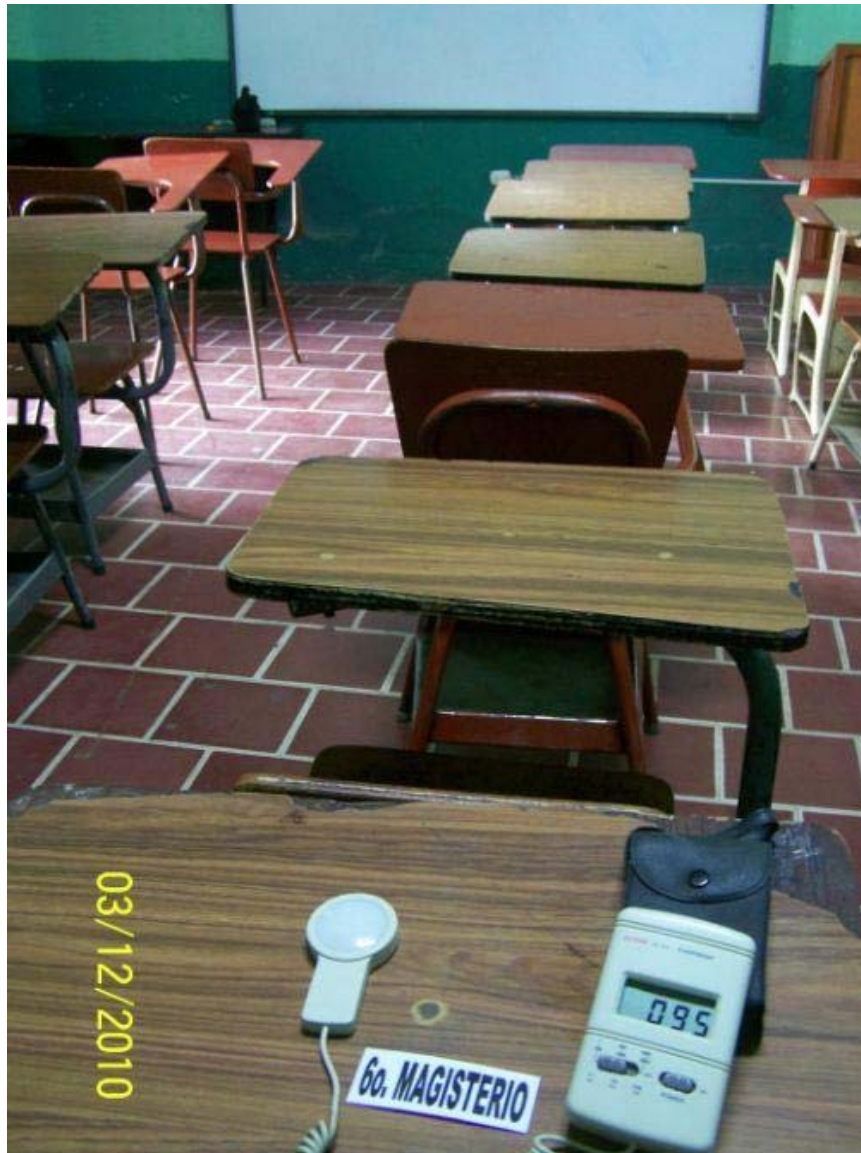


Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, diciembre 2010.

La figura 41 muestra el luxómetro tomando datos al frente del salón de clase previo a la instalación de las nuevas luminarias. La figura 42 muestra una ampliación de la figura 41, donde se puede notar el luxómetro marcando 151 luxes de intensidad. Este dato muestra que el nivel de iluminancia está por debajo de los 200 luxes mínimos permitidos, según la Norma DIN 5035.

A continuación se muestra una fotografía con el luxómetro mostrando 95 luxes, este dato está tomado al fondo del salón, donde escasamente llega la luz solar y únicamente se puede alumbrar con la luz artificial que proveen lámparas fluorescentes ya instaladas en el salón.

Figura 43. Tomando datos al centro del salón de clases

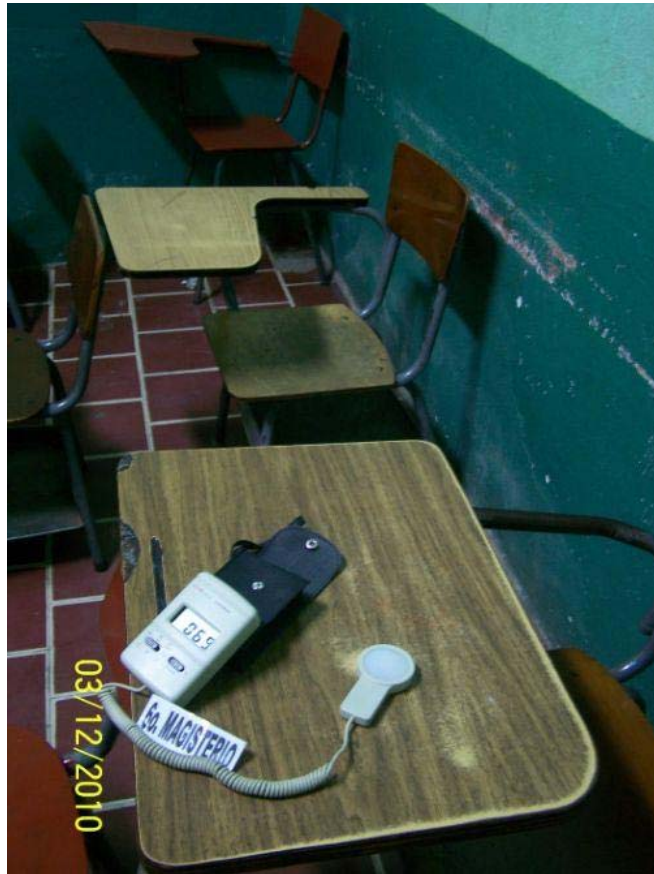


Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

Al centro del salón se pueden observar 95 luxes de iluminancia, a pesar de estar todas las luces encendidas.



Figura 44. Tomando datos al fondo del salón de clases



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

Mientras que al fondo del salón se observan 69 luxes. Esta es el área más crítica, pues es la que presenta menor cantidad de iluminancia en todo el salón. Después de la toma de datos se procedió a desmontar la iluminación antigua, la cual constaba de 2 lámparas de 4 tubos de 40 *watts* cada una, de las cuales solo una encendía. La otra tenía aproximadamente 2 años de no estar funcionando. Esto se muestra en la figura a continuación.

Figura 45. **Iluminación original de sexto magisterio**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

El problema no es solo la falta de mantenimiento en las lámparas fluorescentes, si no que al estar defectuosos los tubos, gastan mucha más energía de la que consumirían si estuviesen en buen estado, por el simple hecho que el tubo consume más energía al momento de encender que cuando se mantiene encendido. Por lo que esto viene a representar un gasto innecesario de energía eléctrica y un mal aprovechamiento de los pocos recursos instalados en el establecimiento educativo.

Después de esto, se procedió con el cálculo de las luminarias necesarias para poder llegar a un nivel lumínico de por lo menos 200 luxes. Al ingresar las

medidas en el *software* DIALux, nos dieron los siguientes datos y configuraciones.

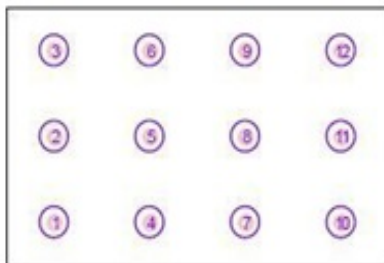
### 3.4.1. Resultados obtenidos utilizando DIALux versión 4.8

Después de haber procedido de la misma manera que con cuarto Magisterio, los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Tabla XII. **Coordenadas de las luminarias de sexto magisterio**

#### DIAL 6 Optikleuchten

2 400 lm, 32,0 w, 1 x 1 x *User defined* (Correction Factor 1,000).

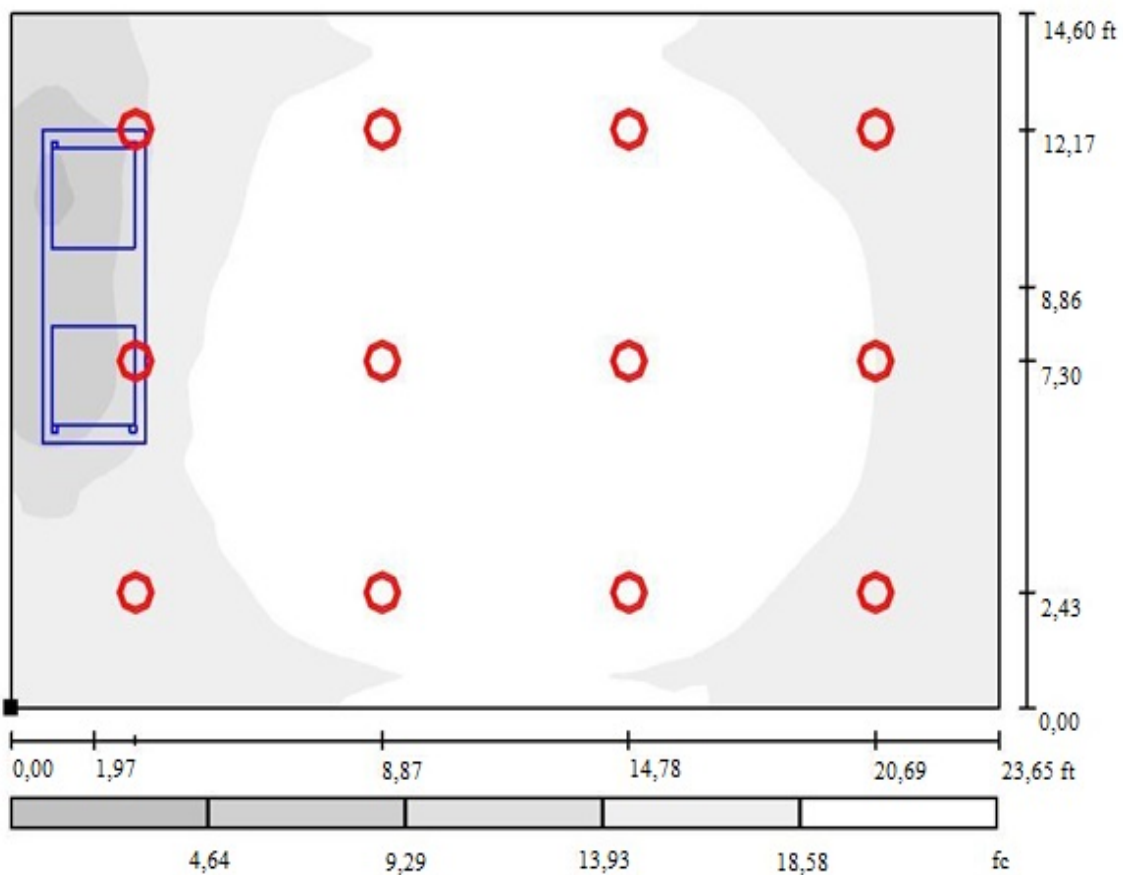


No.	Position [ft]			Rotation [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	2,960	2,430	13,120	0,0	0,0	90,0
2	2,960	7,300	13,120	0,0	0,0	90,0
3	2,960	12,170	13,120	0,0	0,0	90,0
4	8,870	2,430	13,120	0,0	0,0	90,0
5	8,870	7,300	13,120	0,0	0,0	90,0
6	8,870	12,170	13,120	0,0	0,0	90,0
7	14,780	2,430	13,120	0,0	0,0	90,0
8	14,780	7,300	13,120	0,0	0,0	90,0
9	14,780	12,170	13,120	0,0	0,0	90,0
10	20,690	2,430	13,120	0,0	0,0	90,0
11	20,690	7,300	13,120	0,0	0,0	90,0
12	20,690	12,170	13,120	0,0	0,0	90,0

Fuente: *Software* DIALux versión 4,8 de internet.

En este caso la configuración que sugiere el programa DIALux es de 3 x 4 luminarias, haciendo un total de 12 lámparas fluorescentes compactas de 32 *watts*. Esto da como resultado 384 *watts*, lo cual es un valor por encima de los 320 *watts* instalados originalmente.

Figura 46. **Escala de grises**



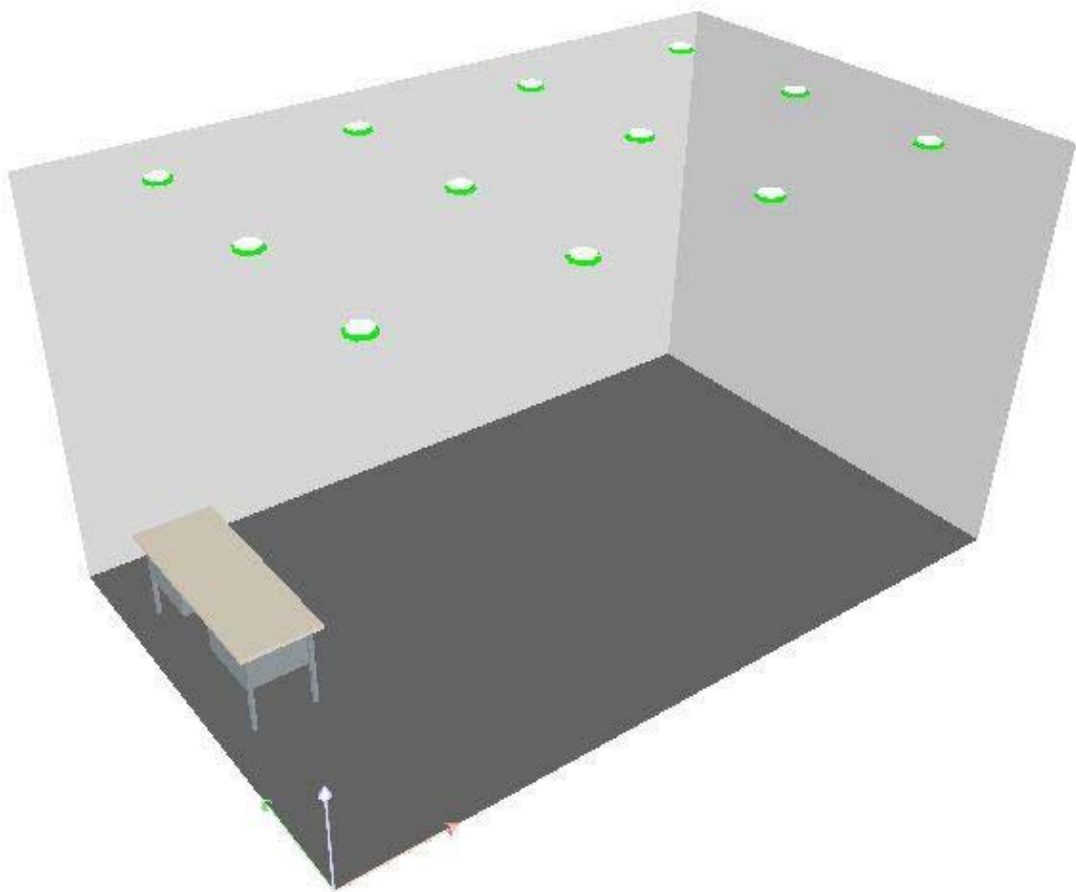
Fuente: *Software* DIALux versión 4,8 de internet.

Esta escala de grises nos muestra que en la mayor parte del salón se tendrá una iluminación mayor a los 200 luxes. Las partes críticas siguen siendo las esquinas.

Sin embargo, este salón tiene una característica especial, que lo diferencia de cuarto Magisterio. Cuenta con 2 ventanas bastante amplias que dan al patio principal.

Esto permite que entre luz natural de día y así elevar el nivel lumínico que podría faltar en las esquinas, como lo muestra el diagrama de grises. La ilustración final en 3D queda de la siguiente manera.

Figura 47. **Ilustración final en 3D de las luminarias**



Fuente: *Software* DIALux versión 4,8 de internet.

Por último, el programa muestra una ilustración en 3D de cómo se vería el salón con todas las luminarias instaladas. Después de haber obtenido estos resultados se procedió con la instalación de las 12 luminarias tal y como el programa DIALux lo recomendaba.

### 3.4.2. Instalación de luminarias

Al igual que en cuarto Magisterio, se procedió con la misma metodología del remplazo de luminarias. Primero se procedió a vaciar el salón, luego se introdujo el andamio para armarlo. Después se desmontó la iluminación antigua y se procedió a armar la retícula con hilo azul sobre el techo.

Figura 48. **Marcaje de plafoneras**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

Una vez marcado el techo con las medidas exactas se procedió a barrenar los agujeros para montar las 12 plafoneras que indicó el programa DIALux.

La altura era un factor crítico aquí, por lo que hubo necesidad de usar siempre un andamio de 2 secciones para poder realizar correctamente los trabajos de instalación.

Figura 49. **Plafoneras instaladas y cableadas**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, enero 2011.

Se puede apreciar la instalación final de las plafoneras sobre el techo de madera. Esto facilitó bastante la instalación, ya que no hubo necesidad de

barrenar, simplemente se atornilló cada plafonera con tornillos especiales para madera y se logró dejar un trabajo seguro y de muy buena calidad, tal como las normas lo requerían.

Así lucen las plafoneras ya instaladas y cableadas.

Figura 50. **Iluminación del aula**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, enero 2011.

Se puede apreciar una iluminación mucho más uniforme que la que se tenía anteriormente.



La potencia total que quedó fue de  $12 \times 32 \text{ watts} = 384 \text{ watts}$ . La que había instalada originalmente era de  $320 \text{ watts}$ , de la cual solo la mitad estaba funcionando correctamente. Con esto se logró mejorar la iluminación en un 20 por ciento.

Pero no solo se mejoró si no que también se volvió más uniforme el nivel lumínico en todo el salón de clase.

Figura 51. **Medición lumínica al centro del salón de clases**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, enero 2011.

La figura 43 muestra una iluminancia de 95 luxes con la iluminación antigua, mientras que con la nueva iluminación se puede observar que el luxómetro marca 253 luxes al centro del salón de clases.

Esto nos muestra que la iluminación se incrementó 2,67 veces, demostrando cuan efectivo resultó ser el cambio de luminarias en el salón. No solo se incrementó el nivel lumínico, si no que se logró una iluminación mucho más uniforme que la que se tenía anteriormente.

Figura 52. **Medición lumínica al fondo del salón de clases**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, enero 2011.

La figura 44 muestra que anteriormente habían 69 luxes, mientras que la figura 52 muestra el mismo punto de medición, solo que ahora con 227 luxes, demostrando un incremento en la iluminación de 3,3 veces. Con esto se demuestra que las áreas críticas marcadas en la gráfica de grises, quedaron al final con una iluminancia arriba de los 200 luxes, siendo esto satisfactorio para los resultados de este proyecto.

Sin embargo, se deben implementar algunas mejoras y remodelaciones para lograr llegar a la iluminancia exigida por la Norma DIN 5035 para establecimientos educativos, las cuales se expondrán más adelante en la lista de recomendaciones.

### **3.5. Trabajos realizados en quinto magisterio**

El presupuesto para comprar más lámparas ahorradoras de energía ya se había terminado, por lo que no se pudo hacer la misma instalación en este salón como se hizo en los dos salones anteriores.

Sin embargo, aún se tenía donación en la mano de obra, por lo que se procedió a limpiar, reparar y reubicar las lámparas fluorescentes desmontadas de cuarto y sexto magisterio, en este salón.

Para este salón no se usó el programa DIALux, ya que dentro de las opciones de lámparas no se encontró ninguna que fuera un tubo fluorescente de 40 watts como los que quedarían instalados, así que simplemente se tomaron datos con el luxómetro en varias áreas del salón, antes y después de la remodelación.

### 3.5.1. Antes de la remodelación

Este salón de clases era totalmente distinto a los demás salones. La primera diferencia era su altura, ya que únicamente tenía 2,10 metros de altura. Otra característica era su techo, ya que a diferencia de los demás salones que eran de madera, este tenía un techo de losa fundida, por lo que había que barrenar con brocas especiales para concreto y meter tarugos para soporte de lámparas verticales. El salón estaba dividido en tres partes iguales, por lo que la ubicación de las lámparas a distancias simétricas resultó ser más sencillo que en los demás salones de clase. Tampoco fue necesario armar andamios como anteriormente se estaba haciendo, ya que por su altura, fue suficiente trabajar con una escalera de dos metros.

Figura 53. Iluminación antes de la remodelación



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

El único inconveniente fue que para poder trabajar con mayor comodidad, se sacaron todos los pupitres del salón de clase, como anteriormente se estaba haciendo.

Esto prolongó un poco más la instalación, pero permitió realizar un trabajo más seguro y de mejor calidad como las normas lo requerían. De las tres lámparas que estaban instaladas, solamente una encendía, dificultando así la visibilidad en el salón de clase a los alumnos.

Figura 54. **Iluminación antes de la remodelación**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

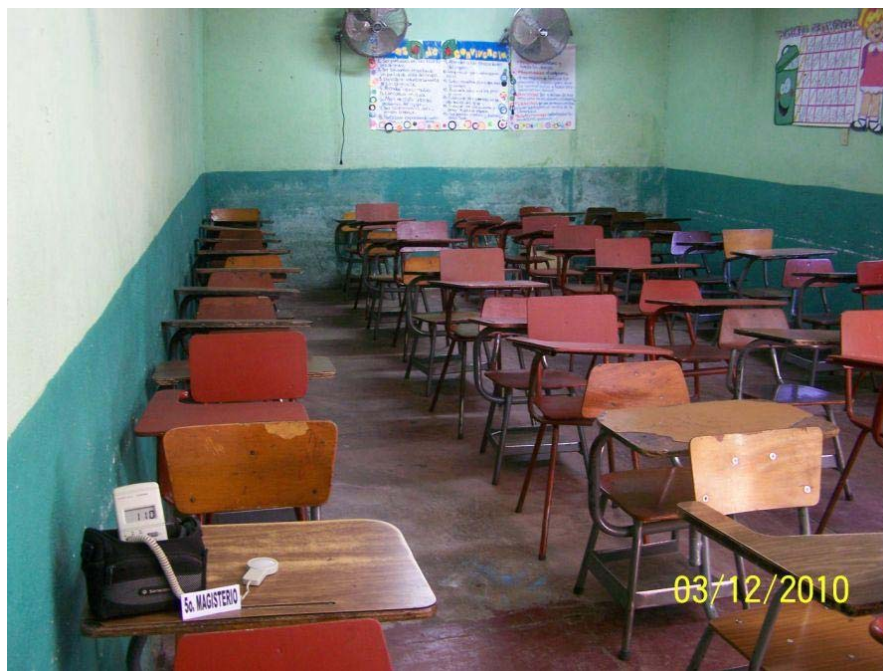
Las figuras 53 y 54 muestran el salón de clase antes de la remodelación. La iluminación que originalmente se tenía era de 3 lámparas de 2x40 watts,

haciendo un total de 240 *watts*. Sin embargo, se puede apreciar que el sistema de iluminación también es defectuoso, ya que solo la lámpara del fondo enciende. Se tienen suficientes lámparas para poder hacer una instalación al doble de lámparas de lo que originalmente se tiene. Esto significa que al final quedarían 6 lámparas de 2x40 *watts* instaladas, haciendo un total de 480 *watts* de iluminación para todo el salón.

### 3.5.2. Toma de datos con el luxómetro

Se tomaron datos en distintas partes del salón, pero principalmente en las áreas del fondo, ya que son las áreas más oscuras. A continuación se muestran estos trabajos.

Figura 55. Toma de datos al frente del salón

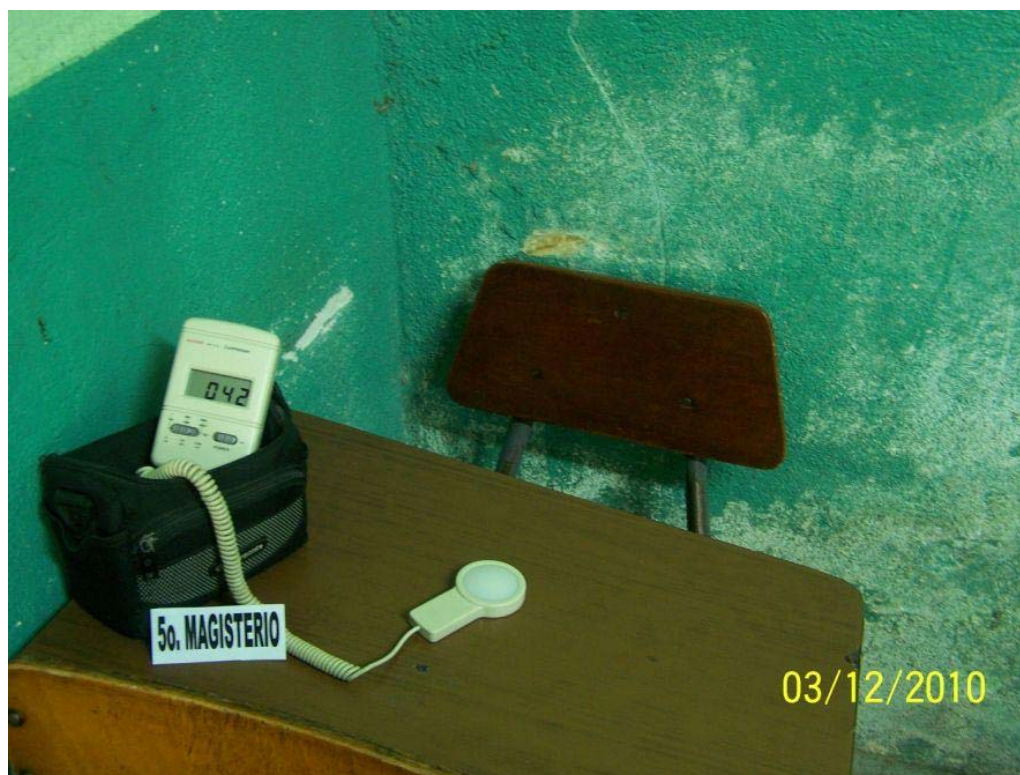


Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

El equipo de medición registra 110 luxes al frente del salón con todas las luminarias encendidas. Lo mínimo que exige la Norma DIN 5035 es un valor de 200 luxes, por lo que se registra en el salón está por debajo de lo permitido.

A continuación se muestran los datos registrados por el equipo al fondo del salón de clases.

Figura 56. **Toma de datos al fondo, lado izquierdo**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

El luxómetro registra 42 luxes en el lado izquierdo al fondo del salón.

Figura 57. Toma de datos al fondo, lado derecho



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

El luxómetro registra 43 luxes en el lado derecho del salón, lo cual está bastante bajo también.

Después de la toma inicial de datos, se procedió con la reparación de las lámparas desmontadas de cuarto y sexto magisterio. Para seguir con la cultura del reciclaje, se repararon y limpiaron las lámparas antiguas y se reutilizaron en quinto magisterio. La ventaja de este salón, es que su altura es únicamente de 2,80 metros, por lo que cambiar un tubo fluorescente o reparar una lámpara dañada, resulta mucho más fácil que si se hiciera en cuarto o sexto magisterio.



### 3.5.3. Reparación e instalación de luminarias

Este salón tenía mucha deficiencia en su iluminación, ya que originalmente estaban instaladas 3 lámparas de 2 x 40 *watts*, de las cuales solo encendía una. Por lo que se procedió a instalar el doble de iluminación.

Figura 58. Instalación de luminarias reparadas



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, diciembre 2010.

Se optó por instalar 2 luminarias de 2 x 40 *watts* al centro de cada división del salón, siendo 3 el total de las divisiones. La ventaja es que todo el trabajo se hizo únicamente con una escalera y una persona, optimizando así los recursos de materiales y mano de obra. En total la reparación únicamente demoró 1 día, logrando así optimizar la donación de mano de obra que se tenía por parte de las empresas donantes.

**Figura 59. Instalación de luminarias reparadas**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, enero 2011.

**Figura 60. Instalación terminada, vista desde el fondo del salón**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, enero 2011.

Figura 61. **Iluminación terminada con las luces apagadas**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, enero 2011.

Figura 62. **Iluminación terminada con las luces encendidas**

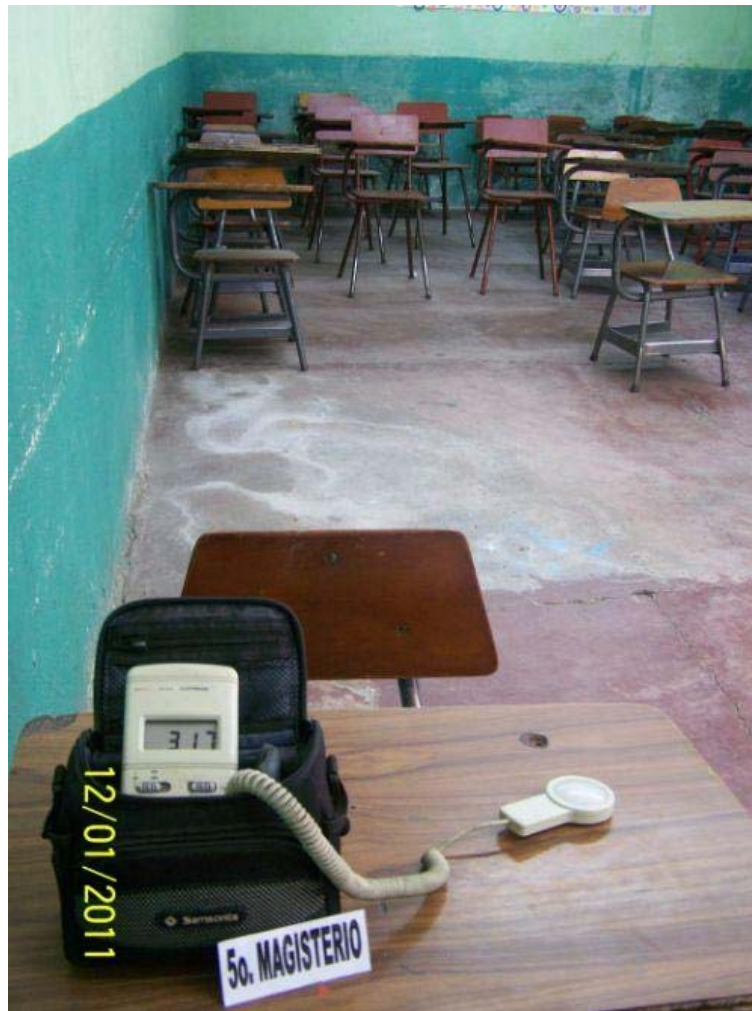


Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, enero 2011.

#### 3.5.4. Toma de datos finales

Una vez terminada la instalación de lámparas, se procedió con la toma de datos con el luxómetro. Se esperaba que la iluminación mejorara al menos al doble de lo que originalmente se tenía, ya que ahora el número de luminarias estaba duplicado y funcionando al 100 por ciento.

Figura 63. Toma de datos al frente del salón



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, enero 2011.

La figura 55 muestra que originalmente habían 110 luxes. En la figura 63 se pueden observar 317 luxes con la nueva iluminación.

Esto nos demuestra que la iluminación se mejoró 2,9 veces de lo que originalmente se tenía con la antigua iluminación.

También se superó el mínimo requerido por la Norma DIN 5035.

Figura 64. **Toma de datos al fondo, lado izquierdo**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, enero 2011.

Figura 65. Toma de datos al fondo, lado derecho



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, enero 2011.

Las figuras 56 y 57 muestran una intensidad lumínica de 42 y 43 luxes respectivamente. Mientras que en las figuras 64 y 65 se pueden observar 132 y 126 luxes respectivamente. Esto nos muestra que la intensidad lumínica mejoró más de 3 veces en toda el área del fondo del salón. Esta era el área más crítica, ya que todas las ventanas por donde puede entrar luz natural se encuentran al frente del salón.

Aprovechando que aún teníamos donación en la mano de obra, se repararon todas las áreas restantes, que fueron la dirección, salón de docentes, salón de música, baños y pasillos. Con esto se logró mejorar la iluminación prácticamente en todo el instituto.

Figura 66. **Remodelación en pasillos**



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatlán, enero 2011.

Sin embargo, en algunas áreas no se llegó al mínimo requerido por la Norma DIN 5035 que son 200 luxes para establecimientos educativos. Al final del trabajo se darán todas las recomendaciones necesarias para poder incrementar el nivel lumínico sin necesidad de incrementar el número de luminarias.

Se darán también las recomendaciones necesarias para un mantenimiento adecuado de la nueva iluminación y lograr así, que dure mucho más de la que originalmente se tenía instalado.

Figura 67. Remodelación en pasillos



Fuente: Instituto Normal Intercultural de Amatitlán, enero 2011.



## **4. FASE DE ENSEÑANZA - APRENDIZAJE**

Como parte final del trabajo de práctica supervisada, el estudiante debe incluir un capítulo en donde se hable de la metodología que se usó para enseñar al personal, todo lo que se implementó durante su trabajo en el establecimiento seleccionado para dicha práctica supervisada.

### **4.1. Métodos de capacitación**

La parte final del trabajo de práctica supervisada consiste en informar y capacitar tanto al personal docente como estudiantes sobre el trabajo realizado en el instituto, para que entiendan la razón de dicha remodelación y los beneficios que traerá a todos los usuarios del instituto.

#### **4.1.1. Objetivo del método de capacitación**

El objetivo primordial del método de capacitación, es dar a conocer al personal docente y alumnos del Instituto Normal Intercultural de Amatlán, el uso de nuevas tecnologías en iluminación como lo son las lámparas fluorescentes compactas ahorradoras de energía eléctrica. También se dieron a conocer las normas europeas de calidad y en especial la Norma DIN 5035, que es la que se aplicó en este caso.

También se les dio a conocer la aplicación que se le puede dar al *software* para iluminación denominado Dialux, tanto en establecimientos educativos como oficinas, bodegas y hogares. Este *software* es una herramienta muy útil

que puede servir para implementarlo cualquier proyecto y así evitarse los cálculos a mano que pueden resultar un poco tardados y confusos.

#### **4.1.2. Método magistral**

Los métodos de capacitación son un conjunto de procedimientos orientados a lograr objetivos del proceso enseñanza-aprendizaje. El método que se usó para la capacitación fue el de clases magistrales acerca de cómo utilizar adecuadamente las lámparas compactas fluorescentes y el *software* Dialux.

Para esto se hizo uso de presentaciones en *Power Point* sobre los temas más importantes, así como también clases interactivas mostrándoles equipos eléctricos y distintas luminarias existentes en el mercado guatemalteco.

#### **4.1.3. Período de capacitación**

La duración de este curso fue de cinco días y cada clase impartida fue de aproximadamente dos horas en las instalaciones del instituto en Amatitlán.

#### **4.1.4. Generalidades**

Cada año se hace mayor énfasis en los temas como eficiencia energética, ahorro energético, producción de electricidad limpia y energías renovables. Es por eso que en esta última sección se han abordado algunos de estos temas para profundizar y complementar el estudio de la práctica supervisada.

#### **4.1.4.1. Acerca de la eficiencia energética**

La eficiencia energética la podemos definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin tener que disminuir por fuerza nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso.

Las lámparas CFL utilizadas en este trabajo nos ayudan a fomentar la eficiencia energética, ya que la reducción de la intensidad energética es un objetivo prioritario para cualquier economía, siempre y cuando su consecución no afecte negativamente al volumen de actividad.

Uno de los objetivos clave del continente europeo es reducir el consumo de energía en un 20 por ciento en el 2020. Para conseguirlo, Europa tiene que, como mínimo, doblar el esfuerzo que actualmente realiza. El marco político ha de establecerse en función de este compromiso y de los modelos de conducta, que deben cambiar en nuestras sociedades para que aprendamos a utilizar la energía del modo más eficiente posible.

Algunos ejemplos de eficiencia energética son:

- Mejorar el aislamiento de los edificios para reducir la pérdida de calor.
- Utilizar productos ligeros que demanden menos carburantes para su transporte con lo que se disminuyan las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Utilizar productos de eficiencia energética como las bombillas de bajo gasto energético (CFL).

#### **4.1.4.2. Ahorro de energía**

Existen muchas maneras de cambiar el comportamiento personal para contribuir al ahorro de energía. Algunas sugerencias son:

- Conducir más despacio para ahorrar combustible.
- No dejar encendidos los electrodomésticos o aparatos eléctricos si no se están usando en ese momento.
- Utilizar menos el vehículo para transportarse de un lugar a otro y procurar viajar en grupos para disminuir el uso del vehículo.
- No dejar las luces encendidas al salir de las habitaciones.
- Utilizar más el transporte público y los medios de transporte no motorizados.
- Cambiar el tipo de iluminación en las casas, oficinas y demás lugares de trabajo por iluminación fluorescente compacta ahorradora de energía eléctrica.
- Informarnos sobre los distintos tipos de energías renovables y cómo podemos empezar a aplicarlas en nuestros hogares y lugares de trabajo.
- Minimizar la dependencia del petróleo, carbón y otras fuentes de energía convencionales que nos permita reducir el calentamiento global y la polución.

#### **4.1.4.3. Resultados del curso impartido**

Al enseñar sobre las energías renovables y el ahorro energético se pudo hacer una labor importantísima con los estudiantes, a la vez que se consiguió transmitirles un importante mensaje a sus familias y otros miembros de sus comunidades.

Con el trabajo realizado en el instituto y la presentación visual hacia el personal docente y estudiantes, se logró que adquirieran los conocimientos básicos sobre el concepto de ahorro de energía, los comportamientos para ahorrar energía, el impacto de la energía en sus vidas y como convertir su impresión personal en la expresión de un trabajo.

Con el conocimiento transmitido sobre las lámparas ahorradoras de energía CFL, se les abrió una ventana al amplio mundo de la eficiencia energética y las energías renovables. El mejor laboratorio fue su propio instituto, para estudiantes y su propio lugar de trabajo para el personal docente.

Se espera que el interés por este tema tan importante crezca en cada uno de las personas que recibieron la capacitación para que puedan seguir investigando acerca de energías renovables de una manera autodidacta, ya que en la actualidad se cuentan con muchos recursos para poder informarse de estos temas tan importantes y que están teniendo un impacto muy fuerte en nuestro planeta.



## CONCLUSIONES

1. En los salones de cuarto y sexto Magisterio se logró alcanzar el nivel mínimo de iluminación requerido por la Norma DIN 5035.
2. En todas las áreas administrativas, corredores y aulas del instituto se mejoró la iluminación en un 100, 200 y hasta 300 por ciento de lo que originalmente se tenía.
3. Estos proyectos muestran que no es necesaria mucha inversión para que los sistemas de iluminación cumplan con estándares internacionales (DIN 5035) y brindar una mejor calidad de vida a más de 250 personas como las que laboran y estudian en el Instituto Normal Intercultural de Amatitlán.
4. Se mostró y capacitó sobre las lámparas fluorescentes compactas ahorradoras de energía, a docentes y alumnos del instituto para que apliquen esta tecnología en sus hogares también.
5. Se utilizó un *software* de última tecnología para el diseño de la iluminación en las aulas, el cual se mostró a docentes y estudiantes del instituto.





## RECOMENDACIONES

1. Para obtener un aumento en la intensidad lumínica de todas las áreas y poder sacarle más provecho a la nueva iluminación instalada, es necesario pintar el techo y las paredes de color blanco con pintura brillante, para que la reflexión lumínica sea aún mayor.
2. Debe de limpiarse con la mayor frecuencia posible las paredes y escritorios, para evitar que el polvo atenúe la nueva iluminación instalada.
3. Cuando se quemé alguna CFL de 32 *watts*, se debe remplazar por una de 54 *watts* circular marca PHILIPS, es más cara (Q. 70,00 – Q. 80,00) pero su nivel lumínico es mayor.
4. Hacer una segunda fase, que consista en seguir cambiando las lámparas fluorescentes por iluminación fluorescentes compacta ahorradora de energía, hasta que todo el instituto quede con este tipo de iluminación.
5. Hacer una evaluación por lo menos una vez al mes, sobre el nivel lumínico en el instituto con ayuda de un luxómetro para determinar el estado de las nuevas luminarias instaladas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CALLEJAS, A.; ALONSO, M.; LÓPEZ, E. *Analysis and experimental result of a single- stage high-power-factor electronic ballast based on fly back converter*. México: Ambreu, 2004. 125 p.
2. ELEMBAS, W. *Fluorescent lamp and lighting*. 2a ed. EEUU: McGraw-Hill, 2001. 160 páginas.
3. FINK, Donald; WAYNE, Beaty, H. *Standard Handbook for Electrical Engineers*. México: McGraw-Hill, 1987. 87 p.
4. HERNÁNDEZ, J. *Balastro electrónico con alto de factor de Potencia y regulación de flujo luminoso*. México: CASA, 1999. 75 p.
5. MACHORRO VIÑAS, José Hernando. *Estudio de balastros electrónicos para el ahorro de energía*. Universidad de Las Américas Puebla, México: Paraninfo, 2003. 157 p.
6. MARTÍNEZ VICTORIA, D. A. *Balastros electrónicos*. Tesis Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Universidad de las Américas, Puebla, México: Paraninfo, 2005. 78 p.

