



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

**PROPUESTA PARA ILUMINAR DE FORMA ARQUITECTÓNICA EL EDIFICIO DE
RECTORÍA CON ILUMINACIÓN LED RGB Y ANÁLISIS DE ARMÓNICOS
PRODUCIDOS POR LAS MISMAS**

Juan Patricio Vásquez Gudiel

Asesorado por el Ing. Byron Armando Cuyan Culajay

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA ILUMINAR DE FORMA ARQUITECTÓNICA EL EDIFICIO DE
RECTORÍA CON ILUMINACIÓN LED RGB Y ANÁLISIS DE ARMÓNICOS
PRODUCIDOS POR LAS MISMAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN PATRICIO VÁSQUEZ GUDIEL

ASESORADO POR EL ING. BYRON ARMANDO CUYAN CULAJAY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Ramos
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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:

**PROPUESTA PARA ILUMINAR DE FORMA ARQUITECTÓNICA EL EDIFICIO DE
RECTORÍA CON ILUMINACIÓN LED RGB Y ANÁLISIS DE ARMÓNICOS
PRODUCIDOS POR LAS MISMAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 31 de julio 2013.

Juan Patricio Vásquez Gudiel

Guatemala 06 de marzo de 2015

Ingeniero.
Guillermo Antonio Puente Romero.
Director Escuela Mecánica Eléctrica.
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Estimado Ingeniero Puente

De acuerdo con la designación hecha por la Dirección de la Escuela, me permito informarle que he tenido bien asesorar el trabajo de graduación **PROPUESTA PARA ILUMINAR DE FORMA ARQUITECTONICA EL EDIFICIO DE RECTORIA CON ILUMINACION LED RGB Y ANALISIS DE ARMONICOS PRODUCIDOS POR LAS MISMAS**, siendo el tema desarrollado por el estudiante Juan Patricio Vásquez Gudiel, encontrándolo satisfactorio, por lo que resuelvo dar mi aprobación al mismo, remitiéndole a la coordinación para el tramite pertinente.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,

Bayron Armando Cuyan Culajay
Ingeniero Electricista
Colg. 7997

Ing. Bayron Armando Cuyan Culajay

ASESOR Colegiado 7997



Ref. EIME 19. 2015
Guatemala, 13 de abril 2015.

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:
**PROPUESTA PARA ILUMINAR DE FORMA
ARQUITECTÓNICA EL EDIFICIO DE RECTORÍA CON
ILUMINACIÓN LED RGB Y ANÁLISIS DE ARMÓNICOS
PRODUCIDOS POR LAS MISMAS,** del estudiante Juan Patricio
Vásquez Gudiel, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Otto Fernando Andriano González
Coordinador Área Electrotécnica



SFO



REF. EIME 19. 2015.

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; JUAN PATRICIO VÁSQUEZ GUDIEL titulado: PROPUESTA PARA ILUMINAR DE FORMA ARQUITECTÓNICA EL EDIFICIO DE RECTORÍA CON ILUMINACIÓN LED RGB Y ANÁLISIS DE ARMÓNICOS PRODUCIDOS POR LAS MISMAS, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 30 DE ABRIL 2015.



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: **PROPUESTA PARA ILUMINAR DE FORMA ARQUITECTÓNICA EL EDIFICIO DE RECTORÍA CON ILUMINACIÓN LED RGB Y ANÁLISIS DE ARMÓNICOS PRODUCIDOS POR LAS MISMAS**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Patricio Vásquez Gudiel**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano



Guatemala, 15 de junio de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la fuente de toda sabiduría y lumbrera que ilumina mi camino.
Mis padres	Ángel Vásquez y María Gudiel de Vásquez, por su incondicional apoyo para lograr esta meta.
Mi esposa	Ericka Navas de Vásquez, por tu muestra de apoyo con amor para cerrar este capítulo de mi vida.
Mi hijo	Marco Fabián y hermanos, por haber llenado mi vida de inspiración para concluir esta etapa.
Mi hermana	Gilda Vásquez, por caminar a mi lado en todo momento, en este recorrido.
Mi familia	Tíos, tías, primos, sobrinos, cuñados, cuñadas, por todos los momentos alegres que hemos vivido.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de completar mi carrera universitaria.
Facultad de Ingeniería	Por todos los conocimientos brindados para mejorar como persona y profesional.
Mis padres	Por todo su esfuerzo y oraciones realizadas para que pudiera concluir esta carrera universitaria.
Mi asesor	Ing. Bayron Cuyan, por sus consejos y ayuda brindada para la elaboración de este trabajo de graduación.
Ing. Mario Pérez	Un agradecimiento especial, por su presión y motivación para concluir esta etapa de mi vida, gracias jefe.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.2. La luz y su definición	3
1.2.1. ¿Qué es la luz?.....	3
1.2.2. La naturaleza de la luz.....	4
1.3. Conceptos básicos de iluminación	5
1.3.1. Flujo luminoso.....	5
1.3.2. Intensidad luminosa I.....	6
1.3.3. Iluminancia E	7
1.3.4. Luminancia L	8
1.4. Comportamiento de la luz.....	9
1.4.1. Reflexión.....	9
1.4.2. Absorción.....	11
1.4.3. Transmisión	11
1.4.4. Refracción.....	11
1.4.5. Interferencia.....	12
1.5. Comportamiento de la luz y el color	12
1.5.1. Color de la fuente de luz.....	12

1.5.2.	Color del objeto	13
1.5.3.	Color del objeto y color de la fuente de luz.....	13
1.6.	Potencia espectral.....	14
1.6.1.	DPE y conversión del color	15
1.6.2.	Cromaticidad	16
1.6.3.	Temperatura del color	16
1.6.4.	Correlación de temperatura de color	17
1.6.5.	Índice de rendimiento de color	18
1.7.	Fuentes de luz.....	19
1.7.1.	Lámparas incandescentes.....	19
1.7.2.	Lámparas infrarrojas	20
1.7.3.	Lámparas de bajo voltaje	20
1.7.4.	Lámparas fluorescentes	20
1.7.5.	Lámparas de alta intensidad de descarga.....	21
1.7.6.	Color.....	23
1.8.	Características de las fuentes de luz.....	23
1.8.1.	Características ópticas	23
1.8.2.	Operación.....	24
1.8.3.	Regulación de la intensidad e interrupción.....	25
1.8.4.	Voltaje	25
1.8.5.	Características funcionales	26
1.8.6.	Equipo auxiliar.....	27
1.8.7.	Factor de potencia.....	27
1.9.	Balastos electrónicos	28
1.9.1.	Distorsión armónica total (THD)	28
1.9.2.	Balastos de descarga de alta intensidad (HID)	29
2.	FOTOMETRÍA	31
2.1.	Curvas polares	31

2.1.1.	Curvas de distribución luminosa	32
2.1.2.	Matriz de intensidades luminosas	34
2.1.3.	Diagramas isocandela	35
2.1.4.	Curvas isolux	38
2.2.	Fotometría	40
2.2.1.	Curvas fotométricas	40
2.3.	Clasificación de las luminarias según la fotometría	46
2.3.1.	Clasificación de las luminarias de interior	46
2.3.2.	Clasificación de las luminarias de alumbrado público	48
2.4.	Clasificación de proyectores	53
2.5.	Sistemas de montaje del fotogoniómetro	55
2.5.1.	Fotogoniómetro tipo A (mediciones X-Y)	56
2.5.2.	Fotogoniómetro tipo B (mediciones V-H)	58
2.5.3.	Fotogoniómetro tipo C (mediciones C- γ)	59
2.5.4.	Archivo informático	60
2.6.	Visión	61
2.6.1.	Luminosidad	61
2.6.2.	Campo visual	62
2.6.3.	Ajuste	64
2.6.4.	Adaptación	64
2.6.5.	Alcance visual	65
2.6.6.	El ojo y la edad	65
2.7.	Factores de visibilidad	65
2.7.1.	Tamaño	66
2.7.2.	Contraste	66
2.7.3.	Tiempo	67
2.8.	Calidad de iluminación	68
2.8.1.	El arte y ciencia de la iluminación	68

2.8.2.	Efecto sobre la arquitectura.....	69
2.8.3.	Efecto de la luz en el diseño interior.....	70
2.8.4.	Planeando la luminosidad	70
2.8.5.	Deslumbramiento y brillo	71
2.8.6.	Luz y sombra.....	72
2.8.7.	Modelado.....	73
2.9.	Iluminación ambiental y general	73
2.9.1.	Diseño de la iluminación.....	74
2.9.2.	El proceso de diseño	74
2.10.	Determinación de iluminancia	76
2.10.1.	¿Dónde colocar la luz?.....	76
2.10.2.	¿Con qué iluminar?	77
2.11.	Iluminación de oficinas	78
2.11.1.	Planeación del espacio	79
2.11.2.	Objetivos de la iluminación.....	79
2.11.3.	Relaciones de luminancia.....	80
2.11.4.	Análisis de energía	81
2.11.5.	Iluminación perimetral	83
2.11.6.	Controles de iluminación	84
2.11.7.	Reglamentaciones de energía para edificios comerciales	85
2.12.	Sistemas de iluminación.....	86
2.12.1.	Sistema de iluminación fluorescente	88
2.12.2.	Sistema de iluminación de fibra óptica	89
2.12.3.	Sistema de iluminación atenuado.....	92
3.	PROPUESTA DE ILUMINACIÓN	97
3.1.	La iluminación y el medio ambiente	97
3.1.1.	Más desarrollos	99

3.2.	Equipo electrónico de alta frecuencia.....	100
3.2.1.	Equipos eléctricos.....	100
3.3.	Armónicos.....	101
3.3.1.	Conceptos generales.....	102
3.3.2.	Definición de armónicos	102
3.4.	Parámetros eléctricos importantes	103
3.4.1.	Factor de potencia.....	104
3.4.2.	Interpretación del valor del factor de potencia	104
3.4.3.	Factor de cresta.....	105
3.4.4.	Interpretación del valor de factor de cresta.....	105
3.4.5.	Potencia activa	106
3.4.6.	Potencia reactiva	106
3.4.7.	Potencia de distorsión	106
3.4.8.	Tasas de distorsión armónica.....	107
3.4.9.	Distorsión armónica total	110
3.5.	Fuentes armónicas	111
3.5.1.	Convertidores	111
3.5.2.	Hornos de inducción.....	112
3.5.3.	Compensadores estáticos de potencia.....	112
3.5.4.	Hornos del arco eléctrico.....	113
3.5.5.	Saturación de transformadores.....	113
3.5.6.	Lámparas fluorescentes	114
3.5.7.	Equipo de cómputo.....	114
3.5.8.	Equipo doméstico	115
3.5.9.	Nuevas fuentes armónicas	115
3.5.10.	Futuras fuentes armónicas	115
3.6.	Efectos de la distorsión armónica.....	116
3.6.1.	Resonancia.....	116
3.6.2.	Aumento de las pérdidas	116

3.6.3.	Pérdidas en los conductores	117
3.6.4.	Sobrecarga de los equipos instalados.....	117
3.6.5.	Fuentes de emergencia UPS's.....	117
3.6.6.	Condensadores	117
3.6.7.	Conductores de neutro	118
3.6.8.	Perturbaciones en cargas sensibles.....	118
3.6.9.	Impacto económico	119
3.6.10.	Error de medición	120
3.7.	Estándares en armónicos.....	121
3.7.1.	IEEE Standard 519-1992.....	122
3.7.2.	Normas de IEC para armónicos	125
3.7.2.1.	IEC 61000-2-2	127
3.7.2.2.	IEC 61000-3-2 e IEC 61000-3-4.....	128
3.7.2.3.	IEC 61000-3-6	132
3.7.3.	NRS 048-02.....	135
3.7.4.	EN 50160	136
3.8.	Propuesta de iluminación	137
3.8.1.	Elección de luminaria	138
3.8.2.	Memoria de cálculo para la instalación	140
3.9.	Análisis de armónicos	146
3.9.1.	Contenido del análisis	146
3.9.2.	Objetivos del estudio	146
3.9.3.	Conclusiones del estudio.....	153
3.9.4.	Recomendaciones del estudio	154
CONCLUSIONES.....		155
RECOMENDACIONES		157
BIBLIOGRAFÍA.....		159
APÉNDICE		161

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Efecto de luz	4
2.	Radio telescopio.....	5
3.	Lámpara incandescente	6
4.	Flujo de luz I.....	7
5.	Iluminancia E.....	8
6.	Luminancia L.....	9
7.	Objetos reflectores	13
8.	Colores naturales de la luz.....	14
9.	DPE y conversión del color	15
10.	Diagrama de cromaticidad	16
11.	Fuentes de luz.....	19
12.	Influencia de la luminaria en la gorma del haz de luz.....	31
13.	Curvas de distribución luminosa	33
14.	Gráfico de valores 1000 lm	34
15.	Matriz de intensidad luminosa.....	35
16.	Diagrama de dirección de proyección	36
17.	Diagrama de líneas isocandelas	37
18.	Diagrama de proyección azimutal de Lambert.....	37
19.	Diagrama curvas isolux.....	39
20.	Matriz de intensidad	41
21.	Gráfico cartesiano	42
22.	Sólido fotométrico.....	43
23.	Curva polar.....	44

24.	Curva polar de luminaria de alumbrado público.....	45
25.	Curva polar de luminaria para iluminación industrial.....	45
26.	Distribución de flujo luminoso	46
27.	Diagrama de alcance	48
28.	Apertura de la luminaria.....	50
29.	Apertura de la luminaria.....	52
30.	Apertura del Haz	53
31.	Tipos de proyector	54
32.	Gonio fotómetro	56
33.	Gonifotómetro A.....	57
34.	Gonifotómetro B1.....	57
35.	Gonifotómetro B2.....	58
36.	Gonifotómetro B3.....	58
37.	Gonifotómetro C1.....	59
38.	Gonifotómetro C2.....	60
39.	Contrastes de luz.....	62
40.	Campo visual 180°.....	62
41.	Campo visual 130°.....	63
42.	Partes del ojo.....	63
43.	Ajuste visual.....	64
44.	Test de visibilidad visual	66
45.	Visibilidad de un objeto	67
46.	Niveles de iluminación (tiempo)	68
47.	Iluminación dinámica	69
48.	Iluminación de interiores	70
49.	Planificación de luminosidad.....	71
50.	Deslumbramiento.....	72
51.	Luz y sombra	72
52.	Modelado	73

53.	Formas de iluminación	75
54.	Técnicas de iluminación	75
55.	Colocación de luz.....	77
56.	Sistemas de iluminación.....	77
57.	Iluminación de oficinas	78
58.	Método 1	79
59.	Luminarias empotradas 2 x 4	80
60.	Comodidad visual.....	81
61.	Iluminación de ambiente	82
62.	Iluminación de realce	83
63.	Baño de pared.....	84
64.	Niveles de luz.....	85
65.	Iluminación arquitectónica.....	87
66.	Luminaria suspendida	88
67.	Sistemas fluorescentes	89
68.	Iluminación de fibra óptica.....	90
69.	Aplicaciones de fibra óptica.....	91
70.	Controles de iluminación	93
71.	Iluminación básica.....	94
72.	Distorsión armónica.....	103
73.	Valores de Distorsión	109
74.	Rectificador	111
75.	Ángulo de Conducción	112
76.	Clasificación de equipos.....	130
77.	Edificio de Rectoría sin iluminar	138
78.	Curva fotométrica color graze EC <i>power core</i>	140
79.	Edificio de Rectoría con iluminación azul	142
80.	Edificio de Rectoría con iluminación naranja.....	142
81.	Edificio de Rectoría con iluminación amarilla	143

82.	Torre inclinada de Pisa	144
83.	Catedral Almudena	144
84.	Catedral Antigua Guatemala.....	145
85.	Torre Eiffel	145
86.	Gráfica de frecuencia.....	147
87.	Gráfica de voltaje	147
88.	Gráfica de corriente	148
89.	Gráfica de potencia.....	149
90.	Gráfica de THD en voltaje.....	151
91.	Gráfica de THD en corriente	152

TABLAS

I.	Matriz de intensidad.....	41
II.	Clasificación de luminarias interior en función del ángulo del haz	47
III.	Alcance en función del ángulo Y.....	49
IV.	Apertura de luminaria.....	50
V.	Tipos de grado de control	51
VI.	Grados de control	52
VII.	Apertura del haz.....	53
VIII.	Clasificación de proyectores según la CIE.....	55
IX.	Formatos de archivo informático.....	61
X.	Distorsión de voltaje máximo	123
XI.	Tabla de distorsión.....	124
XII.	Redes de baja tensión	128
XIII.	Límites de corrientes armónicas 1	131
XIV.	Límites de corrientes armónicas 2	131
XV.	Límites de corrientes armónicas 3	132
XVI.	Normativa de baja tensión	132

XVII.	Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos	133
XVIII.	Principio de voltaje para MT	134
XIX.	Límites de voltaje armónicos	137
XX.	Memoria de cálculo para instalación	141
XXI.	Valores medidos de voltaje	148
XXII.	Valores medidos de corriente.....	149
XXIII.	Valores medidos de potencia	150
XXIV.	Valores en porcentaje de THD en voltaje.....	152
XXV.	Valores en porcentaje de THD en corriente	153

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cd	Candela
dpe	Distribución de la potencia espectral
kl	Grados Kelvin
l	Iluminancia
cri	Índice de rendimiento de color
lm	Lumen
lx	Lux
hg	Mercurio
m	Metro
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
\hat{H}	Operador Miltoniano
uv	Radiación Ultravioleta
na	Sodio
w	Watts de potencia

GLOSARIO

Ángulo de incidencia	Se le llama así al punto de reflexión donde se ubica la normal de luz sobre algún objeto con capacidad de reflejar, cóncavo o convexo. El espejo convexo es un espejo de forma esférica y se pueden observar imágenes a la inversa.
Cromaticidad	Es una propiedad psicofísica y se compone de dos atributos: el tono y la pureza (el croma).
Deslumbramiento	Pérdida momentánea de la vista producida por un exceso brusco y repentino de luz.
Espectro energético	Es la imagen o registro gráfico que presenta un sistema físico al ser excitado y posteriormente analizado. El operador que enlaza con la definición matemática es el operador hamiltoniano \hat{H} . Estos sistemas pueden ser grandes (como estrellas) o pequeños (como átomos, moléculas, entre otros).
Fluorescente	Es un tipo particular de luminiscencia que caracteriza a las sustancias que son capaces de absorber energía en forma de radiaciones electromagnéticas y luego emitir parte de esa energía en forma de radiación electromagnética de longitud de onda diferente.

Fotosensor	Es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera luz, y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor.
Fóvea	Es el área de la retina donde se enfocan los rayos luminosos y se encuentra especialmente capacitada para la visión del color.
Haluro metálico	(Derivado del nombre griego <i>halos</i> = sal). Es un compuesto binario, en el cual una parte es un átomo halógeno y la otra es un elemento, catión o grupo funcional que es menos electronegativo que el halógeno. Según el átomo halógeno que forma el haluro este puede ser un fluoruro, cloruro, bromuro o yoduro, todos elementos del grupo XVII en estado de oxidación.
Haz	Conjunto de rayos luminosos de un mismo origen.
Iluminación	Cantidad de luz que entra o hay en un lugar.
Luz	Energía que hace visible todo lo que nos rodea. Utensilio que sirve para alumbrar.
Magnéticas	Relacionado con la piedra imán o que tiene sus propiedades.

Mercurio	Elemento químico de número atómico 80 y símbolo Hg.
Radiación infrarroja	También es conocida como radiación IR es un tipo de radiación electromagnética y térmica, de mayor longitud de onda que la luz visible pero menor que la de las microondas. Consecuentemente tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 1000 micrómetros.
Radiación Ultravioleta	También llamada radiación UV la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm (4×10^{-7} m) y los 15 nm ($1,5 \times 10^{-8}$ m). Su nombre proviene porque su rango empieza desde longitudes de onda más cortas de lo que los humanos identifican como el color violeta.
Rayos gama	Es un tipo de radiación electromagnética y por tanto constituida por fotones, producida generalmente por elementos radiactivos o por procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón.
Rayos X	Radiación electromagnética, invisible para el ojo humano, capaz de atravesar cuerpos opacos y de imprimir las películas fotográficas.

Reflexión	Fenómeno por el cual un rayo de luz, que incide sobre una superficie, es reflejado.
Sodio	Es un elemento químico de símbolo Na (del latín, <i>natrium</i>) con número atómico 11, fue descubierto por Sir Humphrey Davy. Es un metal alcalino blando, untuoso, de color plateado, muy abundante en la naturaleza, encontrándose en la sal marina y el mineral halita.
Software	Término genérico que se aplica a los componentes no físicos de los componentes informáticos y electrónica que permiten ejecutar tareas diferentes.
Temperatura	Magnitud física que mide la sensación subjetiva de calor o frío de los cuerpos en el ambiente.
Transformadores	Aparato eléctrico para convertir la corriente de alta tensión y débil intensidad en otra de baja tensión y gran intensidad, o viceversa.
Tridimensional	Que se desarrolla en las tres dimensiones espaciales de altura, anchura y largura.
Voltaje	Diferencia de potencial eléctrico entre los extremos de un conductor expresadas en voltios.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realiza una propuesta de iluminación para el edificio de Rectoría. Para ello se trabajarán tres capítulos conteniendo información básica, pero necesaria, para realizar la propuesta.

En el primer capítulo llamado principios básicos de iluminación se presentan conceptos como definición de la luz, flujo luminoso, intensidad luminosa. También acerca del comportamiento de la luz con términos como reflexión, absorción, transmisión, refracción e interferencia. Se realizará una pequeña reseña de los avances tecnológicos relacionados con la iluminación, para ello se introducirá las lámparas incandescentes hasta las luminarias de tecnología led, que son de tecnología actual.

En el capítulo dos llamado fotometría se establecerán luminarias desde un punto de vista más específico como la aplicación de las curvas polares en las luminarias de diferentes tecnologías, así como su correcto uso para iluminar las diferentes áreas. Se enfatizará en temas como la visión y factores de visibilidad, cómo elegir una luminaria y la calidad de iluminación que se logra con esto.

En el capítulo tres se presentan conceptos básicos de armónicos y la propuesta de iluminación para el edificio de Rectoría, también se hará un estudio de armónicos que pueden ser producidos por este tipo de luminarias.

OBJETIVOS

General

Realizar una propuesta para iluminar de forma arquitectónica el edificio de Rectoría con iluminación led RGB y análisis de armónicos producidos por las mismas.

Específicos

1. Presentar conceptos básicos de iluminación de forma clara, que puedan ser comprendidos para poner en práctica.
2. Dar a conocer conceptos más específicos de las luminarias como las curvas polares y fotometrías.
3. Proponer iluminación para el edificio de Rectoría agradable a la vista de los estudiantes de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
4. Realizar un estudio de armónicos y analizar si las luminarias led RGB puede generar distorsiones perjudiciales a la red del edificio.

INTRODUCCIÓN

A continuación se presentarán conceptos de iluminación básicos que permitirán entender la forma en que se deben analizar los espacios para designar una luminaria. Entre ellos se menciona el flujo luminoso o la intensidad luminosa que es base para iniciar un proyecto de iluminación.

La iluminación a través del tiempo ha evolucionado, al igual que todos los productos de uso común para las personas comercios e industrias, en este caso se menciona que la evolución ha sido desde el bombillo incandescente pasando por lámparas de bajo voltaje, fluorescentes, de alta intensidad de descarga hasta llegar a lámparas con base en led que son las que presenta esta propuesta.

Todo lo mencionado anteriormente trajo a mejorar los diseños arquitectónicos, como el que se mostrará a continuación, en donde se quiere resaltar edificios emblemáticos el edificio de Rectoría. Se resaltan líneas rectas, curvas paralelas o bien detalles como columnas fachadas o esculturas. Estos diseños son realizados en muchos lugares alrededor del mundo como ejemplo la torre inclinada de Pisa, la torre Eifel e importantes catedrales.

La electrónica presente en la tecnología led inevitablemente provocará efectos en la calidad de energía que se analizarán en el presente trabajo de graduación.

Uno de los problemas más comunes que afectan a la calidad de la energía en sistemas eléctricos de baja tensión es la deformación de la onda.

Esta es producida en gran medida por un fenómeno llamado distorsión armónica, problema que afecta tanto la estabilidad a las redes eléctricas de distribución como a los consumidores finales.

Se dará una explicación sencilla pero clara para tener una idea acerca de la creación de los armónicos de corriente y voltaje, también de los factores que la originan, sus efectos nocivos en las redes eléctricas y sobre el normal funcionamiento de los equipos o las cargas que se alimentan de ella, así como los límites de perturbación permitidos. Esto se analizará al resultado de utilizar luminarias led RGB para la iluminación de edificios y también al transportar esta idea al en la ciudad completa.

1. CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN

1.1. Generalidades

La iluminación juega un papel muy importante en la vida diaria. En una oficina, una fábrica o en una bodega, una buena iluminación ayuda a los empleados a tener un mejor desempeño, mayor eficiencia, comodidad y seguridad. En boutiques y galerías se crea ambientes atractivos y dinámicos, mientras que en edificaciones históricas y monumentos públicos acentúa su arquitectura. En los hogares, no solo ayuda en las tareas diarias, sino que crea atmósferas cálidas y agradables para quienes habitan en ellos.

¿Qué se espera lograr a través de una buena iluminación? Esta es una pregunta que los diseñadores en iluminación se hacen mientras se ocupan de planos e instalaciones. Requerimientos básicos como los niveles de iluminación, contrastes, distribución de la luz, temperatura de color y reproducción de los colores, se deben considerar para cada situación en general y para cada una de las actividades que se desarrollarán en cada lugar en particular.

Sin embargo, una correcta iluminación trasciende más allá de la eficiencia y la funcionalidad. Debe hacer los ambientes en los que se interactúa agradables, es decir, cálidos o fríos, dinámicos o tranquilos, felices o solemnes, o de cualquier otro carácter. Últimamente se le atribuye aún más valor a la influencia emocional de la iluminación como un factor determinante en la creación de atmósferas que afectan positivamente los ánimos, el bienestar y la salud de las personas.

Lamentablemente, en muchas oportunidades la iluminación es uno de los últimos aspectos a tener en cuenta al presupuestar un proyecto. En muchos casos se ve que alternativas de bajo valor agregado son seleccionadas para evitar que los gastos excedan los límites financieros. El resultado no siempre es el adecuado: niveles de iluminación por debajo de los estándares óptimos, un decrecimiento de la productividad y estado de ánimo de sus empleados, mayor número de errores y fallas en sus trabajos o lo que podría ser peor, un incremento en los índices de accidentalidad.

Una apropiada inversión en el diseño de la iluminación de un proyecto, generalmente se paga a sí misma, a través de bajos costos de mantenimiento a en su vida útil, bajos consumos energéticos, incrementos en la productividad de sus empleados, mayores ventas como consecuencia de exhibiciones más atractivas y llamativas.

Claramente, una buena iluminación no surge de manera independiente. Requiere del balance de múltiples factores determinantes y circunstancias propias de cada proyecto. Sin embargo, independientemente de ser un proyecto nuevo o una remodelación, esta debe ser planeada debidamente para obtener los mejores resultados. En los casos que amerite es recomendable buscar la cooperación de expertos en el diseño de iluminación.

Una buena iluminación es una ciencia y a la vez un arte que combina conocimientos en física, ingeniería, fisiología y psicología. A través del siguiente informe de trabajo de graduación se resumirá los aspectos y fundamentos más importantes relacionados con la luz y la iluminación y también se hará un análisis sobre los armónicos que se producen en la red por realizar un trabajo de iluminación con diseño arquitectónico. Se intentará describir una correcta

iluminación, sabiendo que solo a través de la experiencia y de la observación directa se podrá comprobarlo.

1.2. La luz y su definición

A continuación se procederá con los siguientes conceptos de iluminación, es importante comprenderlos porque con ellos se pueden realizar proyectos de gran calidad y complejidad.

1.2.1. ¿Qué es la luz?

Es una forma de energía que se manifiesta por sí sola como radiación electromagnética. Este tipo de energía se encuentra estrechamente relacionada con otras formas de radiación electromagnética, tales como las ondas de radio, ondas radar, microondas, radiación infrarroja, radiación ultravioleta, rayos X, rayos gama, rayos cósmicos, y otros. La única diferencia entre las diversas formas de radiación está dada en su longitud de onda. La radiación con una longitud de onda entre 380 y 780 nanómetros conforma la parte visible del espectro electromagnético, y por lo tanto, se denomina luz. El ojo interpreta las diferentes longitudes de onda entre este rango de colores moviéndose desde el rojo, pasando por el naranja, verde, azul hasta violeta, a medida que la longitud de onda disminuye. Anterior al rojo se encuentra la radiación infrarroja, la cual es invisible para el ojo humano, pero se percibe como calor. Las longitudes de onda que van más allá del violeta, fin del espectro visible, corresponden a radiación ultravioleta la cual también es invisible para el ojo humano, sin embargo la exposición a esta puede causar daños a los ojos y a la piel el ejemplo más común es lo que sucede al exponernos sin la debida protección a los rayos del sol. La luz blanca es una mezcla de longitudes de onda visibles,

como se demuestra por ejemplo en un prisma, el cual divide la luz blanca en los colores que la constituyen.

1.2.2. La naturaleza de la luz

Describir la luz como una onda electromagnética es tan solo una manera de ver la radiación y explicar algunas de sus propiedades, tales como la reflexión y la refracción.

Sin embargo, otras propiedades pueden ser explicadas recurriendo a la teoría cuántica. Esta describe la luz en términos de paquetes indivisibles de energía, conocidos como fotones, que se comportan como partículas, la teoría cuántica explica propiedades tales como el efecto de luz:

Figura 1. **Efecto de luz**



Fuente: Philips lighting. *Principios básicos de iluminación*. p. 4.

El arco iris revela los colores que conforman la luz del día.

Figura 2. **Radio telescopio**



Fuente: Philips lighting. *Principios básicos de iluminación*. p. 4.

El radio-telescopio percibe ondas electromagnéticas con longitudes de onda entre 3 cm y 6 cm.

1.3. Conceptos básicos de iluminación

A continuación se describen las principales unidades de medición de luz, estos son básicos para la comprensión de la cantidad de luz a utilizar para iluminar espacios.

1.3.1. Flujo luminoso

Expresa la cantidad total de luz irradiada por segundo, por una fuente de luz. La unidad de flujo luminoso es el lumen (lm).

Figura 3. **Lámpara incandescente**



Fuente: Philips lighting. *Principios básicos de iluminación*. p. 12.

Ejemplos:

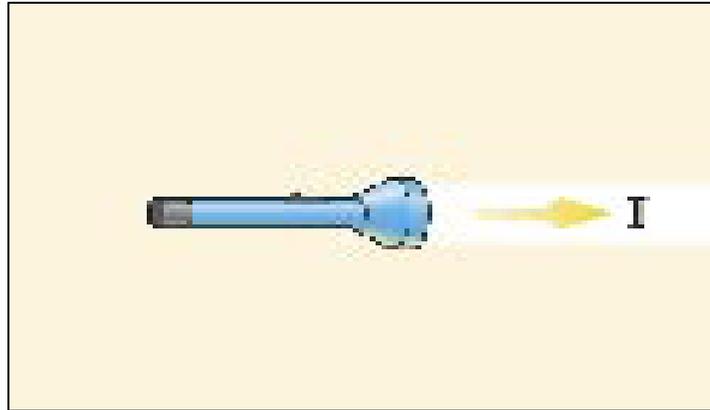
- Lámpara incandescente de 75 W: 900 lm
- Lámpara fluorescente de 39 W: 3500 lm
- Lámpara de sodio de alta presión de 250 W: 30 000 lm
- Lámpara de halogenuros metálicos de 2 000 W: 200 000 lm

1.3.2. **Intensidad luminosa I**

Está definida como el flujo de luz emitido en una cierta dirección.

La unidad de la intensidad luminosa es la candela (cd).

Figura 4. **Flujo de luz I**



Fuente: Philips lighting. *Principios básicos de iluminación*. p. 12.

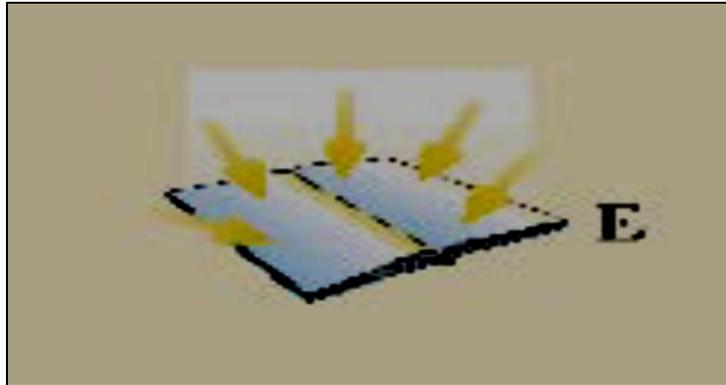
Ejemplos (centro del rayo):

- Lámpara de bicicleta de 5 W sin reflector: 2,5 cd
- Lámpara de bicicleta de 5 W con reflector: 250 cd
- Lámpara reflectora incandescente de 120 W: 10 000 cd
- Faro: 2 000 000 cd

1.3.3. **Iluminancia E**

También llamada nivel de iluminación es la cantidad de flujo luminoso que cae sobre una superficie. La unidad de la iluminancia es el lumen/m² o lux (lx).

Figura 5. **Iluminancia E**



Fuente: Philips lighting. *Principios básicos de iluminación*. p. 12.

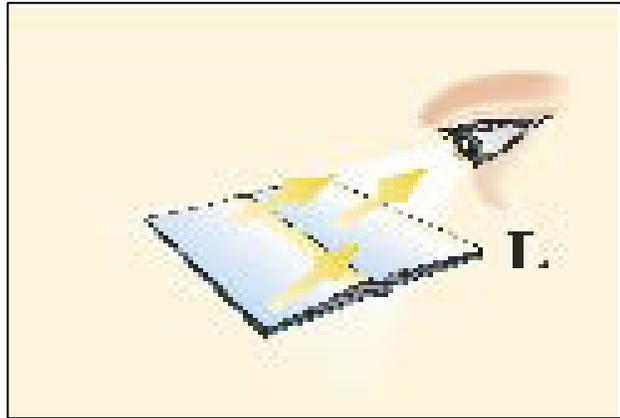
Ejemplos:

- A mediodía bajo un cielo descubierto en un día de verano, (en el Ecuador): 100 000 lx
- Bajo un cielo muy nublado: 5 000 lx
- Luz artificial, en una oficina bien iluminada: 800 lx
- Luna llena, en una noche despejada: 0,25 lx

1.3.4. Luminancia L

Es la intensidad de luz proveniente de un objeto o punto determinado. La unidad de la luminancia se expresa en cd/m^2 (superficie aparente).

Figura 6. **Luminancia L**



Fuente: Philips lighting. *Principios básicos de iluminación*. p. 12.

Ejemplos:

- Superficie del sol: 1 650 000.000 cd/m².
- Filamento de una lámpara incandescente clara: 7 000 000 cd/m².
- Lámpara fluorescente: 5 000 – 15 000 cd/m².
- Superficie de una carretera bajo luz artificial: 0,5 – 2 cd/m²

1.4. **Comportamiento de la luz**

La luz tiene un comportamiento físico característico dentro de los cuales se puede mencionar la reflexión, absorción, transmisión, refracción e interferencia a continuación se definirán los conceptos de cada uno.

1.4.1. **Reflexión**

Cada vez que la luz choca contra una superficie existen tres posibilidades: la luz se refleja, es absorbida o es transmitida. A menudo una combinación de

dos o tres efectos puede ocurrir. La cantidad de luz que se refleja depende del tipo de superficie, el ángulo de incidencia y de la composición espectral de la luz. El rango de reflexión puede variar desde un porcentaje muy pequeño, por ejemplo en superficies muy oscuras como el terciopelo negro, o hasta un 90 % en superficies muy brillantes como paredes con pintura blanca. La forma en que la luz se refleja también depende de qué tan lisa es la superficie. Las superficies ásperas dispersan la luz en varias direcciones al reflejarla. Por el contrario, las superficies lisas como la superficie del agua cuando no está en movimiento o el vidrio reflejan la luz de manera nítida, logrando que la superficie actúe como un espejo. Cuando un rayo de luz choca contra una superficie reflectiva con cierto ángulo con respecto a la perpendicular, éste será reflejado con el mismo ángulo al otro lado con respecto a la perpendicular. Ángulo de incidencia = ángulo de reflexión. Las superficies reflectivas son muy buenas para dirigir los rayos de luz hacia donde se quiere. Los espejos reflectores curvos son comúnmente utilizados para enfocar la luz para dispersarla o para crear rayos paralelos o divergentes y todos están gobernados por la ley de la reflexión del sol. La luz blanca es una mezcla de longitudes de onda visibles, como se demuestra por ejemplo en un prisma, el cual divide la luz blanca en los colores que la constituyen. Esta es la conocida ley de reflexión, que está dada por: ángulo de Incidencia = ángulo de Reflexión.

Las superficies reflectivas son muy buenas para dirigir los rayos de luz hacia donde se quiere.

Los espejos reflectores curvos son comúnmente utilizados para enfocar la luz para dispersarla o para crear rayos paralelos o divergentes y todos están gobernados por la ley de la reflexión.

1.4.2. Absorción

Cuando la superficie de un material no es totalmente reflectiva o no es un buen transmisor, gran parte de la luz es absorbida. Esta desaparece transformándose en calor. El porcentaje de luz absorbida por una superficie depende tanto del ángulo de incidencia, como de la longitud de onda.

La absorción de la luz hace que un objeto sea oscuro a la longitud de onda de la radiación que lo está golpeando. La madera es opaca a la luz visible. Algunos materiales son opacos a algunas frecuencias de luz y transparentes a otras. Por ejemplo, el vidrio es opaco para la radiación ultravioleta que está por debajo de ciertas longitudes de onda, pero es transparente para la luz visible.

1.4.3. Transmisión

Los materiales transparentes transmiten algo de la luz que choca contra su superficie y el porcentaje de luz que es transmitida se conoce como su transmitancia. Los materiales con alta transmitancia tales como el agua y el vidrio transfieren casi toda la luz que no es reflejada. Los materiales con baja transmitancia, como el papel, transfieren solo un pequeño porcentaje de la luz.

1.4.4. Refracción

Si un rayo de luz pasa de un medio a otro con una densidad óptica diferente, el rayo se dividirá.

Este comportamiento se llama refracción, y es causado por el cambio en la velocidad de la luz al pasar entre dos medios transparentes que tienen diferentes densidades ópticas.

1.4.5. Interferencia

La naturaleza de la onda de luz lleva a la interesante propiedad de la interferencia. Un claro ejemplo de esta propiedad es cuando se observa una delgada película de aceite flotando en la superficie de una piscina. A veces el aceite muestra un arco iris o gamas de colores, aun cuando es iluminado por una luz blanca. En realidad lo que ocurre es que las diferentes partes de la película de aceite causan diferentes longitudes de onda que interfieren produciendo otras longitudes (equivalente a los colores). Diversos colores son generados, dependiendo del grosor de la capa donde ocurre la interferencia. Ejemplos similares de interferencia se encuentran cuando se observan burbujas de jabón o la superficie de un CD.

1.5. Comportamiento de la luz y el color

El color es uno de los principales factores en el efecto emocional de cualquier espacio. Sin luz, no obstante, no hay color. Hay dos aspectos del reconocimiento del color.

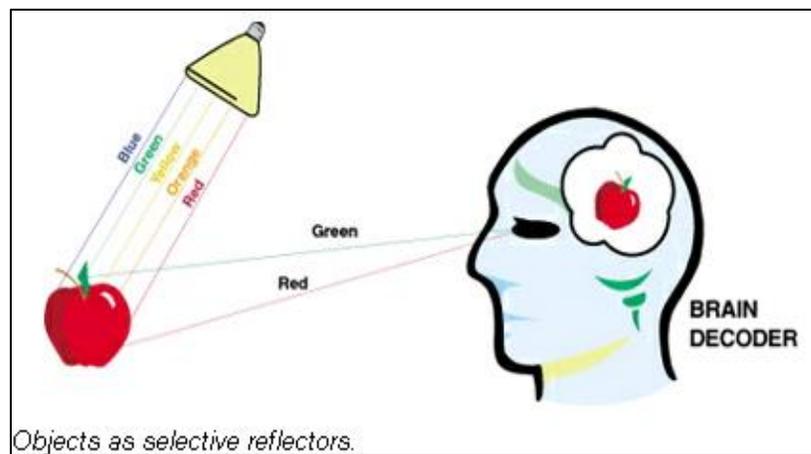
1.5.1. Color de la fuente de luz

Involucra la composición espectral de la luz que incide sobre un objeto.

1.5.2. Color del objeto

Involucra las características de reflectancia de un objeto. Básicamente se ve el color porque un objeto refleja de manera selectiva una porción de la luz que incide sobre él.

Figura 7. **Objetos reflectores**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 7.

1.5.3. Color del objeto y color de la fuente de luz

Los colores de los objetos, es decir, los pigmentos, tintes o pinturas, funcionan como reflectores selectivos. Reflejan la luz de ese color.

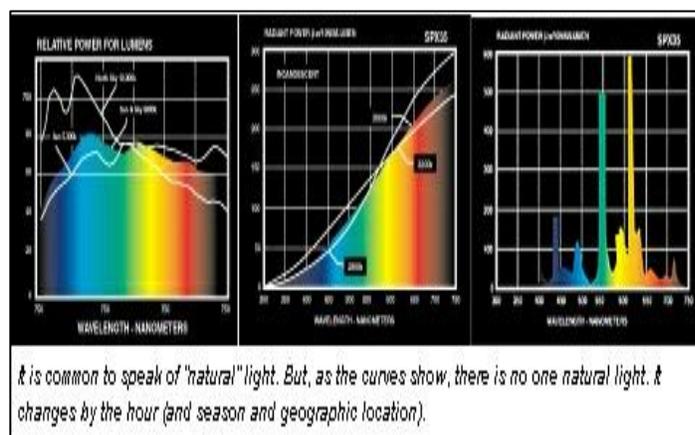
La luz blanca consiste en energía irradiada a través del espectro visible. Los colores complementarios como rojo/verde y azul/anaranjado pueden verse bajo está. Sin embargo, si una hoja verde que está sobre una manzana roja se ilumina solamente con longitudes de onda rojas de luz, la hoja parecería no

tener color o ser negra. Si la manzana fuera iluminada solamente con luz verde, parecería ser negra pero la hoja se percibiría de color verde. Si un color no está en la fuente de luz, no puede verse en un objeto.

1.6. Potencia espectral

La composición del color de cualquier fuente de luz puede dibujarse mediante la representación gráfica de la cantidad de potencia radiante en cada longitud de onda. Esto se conoce como curva de distribución de la potencia espectral. Cada fuente de luz puede describirse con precisión mediante su curva de DPE. Entre más alta sea la curva en cualquier punto, más potencia existe en la fuente de luz en esa longitud de onda. La curva mostrada para la luz solar del mediodía está relativamente equilibrada con potencia en todas las longitudes de onda. Compárela con la DPE del amanecer y la de un tragaluz (no directa del sol).

Figura 8. Colores naturales de la luz



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 8.

1.6.1. DPE y conversión del color

La curva de la DPE indica las propiedades de conversión de color de una fuente de luz. Una fuente con una gran cantidad de potencia radiante en luz roja y anaranjada acentuará esos colores. Una fuente abundante en azules y verdes los enfatizará. De manera similar, una fuente que es débil en un extremo del espectro de colores tenderá a agrisar u opacar esos colores.

Como se ve en la figura 09, una fuente con un solo color, como rojo puro, revela sólo ese color y no otros.

Figura 9. DPE y conversión del color



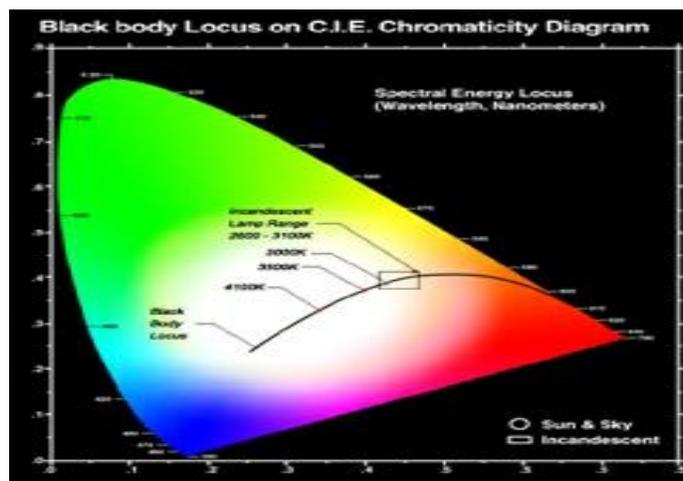
Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 8.

1.6.2. Cromaticidad

Término técnico que sirve para describir el color de la luz. La curva espectral de luminosidad, aunque muy exacta en su análisis de la distribución lumínica, presenta inconvenientes en su descripción de la cromaticidad

La imagen de cromaticidad, señalada a la derecha en la figura 10, permite a las fuentes de luz describir sus coordenadas. También es conveniente, ya que todas las fuentes de luz son expuestas en una sola gráfica.

Figura 10. Diagrama de cromaticidad



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 9.

1.6.3. Temperatura del color

Al imaginar un metal calentado a alta temperatura: entre más elevado sea el calor al que está expuesto, mayor será su luminosidad (incandescencia). El

metal cambiará de rojo vivo, a amarillo, a blanco conforme la temperatura vaya subiendo.

Esta es la idea básica que describe la temperatura del color. Sin embargo, se puede advertir que para describir temperaturas de color cálidas se piensan en colores rojos y amarillos, cuando en realidad la incandescencia del metal es aun relativamente baja. Así cuando se menciona una temperatura de color fría, es porque el metal (filamento del foco) ha sido expuesto a una fuente de calor tan alta, que su color es blanco.

La escala que se usa para medir la temperatura de color son los grados Kelvin (K), la versión absoluta de la escala en grados centígrados.

1.6.4. Correlación de temperatura de color

Para calcular la temperatura de color de las fuentes de luz se usa un modelo teórico llamado Black Body Radiador (Radio de cuerpos oscuros).

Nótese que el BBR (Black Body Radiator) es una fuente de espectro continuo con longitud de onda y poder radiante. La cromaticidad del BBR varía dependiendo la temperatura de color. Las fuentes incandescentes de color generalmente se encuentran entre los 2750 y 3200-K. Las lámparas fluorescentes y de aditivos metálicos resultan más difíciles de evaluar ya que al no generar luz por incandescencia, no caen en la línea del BBR, y por lo tanto se miden por correlación de temperatura de color o CCT.

1.6.5. Índice de rendimiento de color

Se puede medir el rendimiento de color de una fuente de luz por medio de la SPD (DPE o distribución de la potencia espectral en español). Sin embargo, existe una manera más simple llamada índice de rendimiento de color o CRI por sus siglas en inglés.

El CRI de una fuente de luz compara el rendimiento de color de una fuente de luz del mismo color de temperatura. Por definición, el BBR o cuerpo oscuro es una fuente de espectro completo, y su CRI es de 100. Entre mayor sea el CRI de una fuente de luz, más natural parecerán los colores expuestos a está. Nótese que por natural nos referimos a la luz solar. Debido a que los colores lucen diferentes dependiendo la luz a la que se encuentran expuestos, se evita decir que sean colores verdaderos.

Las fuentes incandescentes de luz tienen un CRI de 100.

Las fuentes de luz fluorescentes no llegan al 100, pero se aproximan mucho, como se apreciará en los capítulos siguientes.

Figura 11. Fuentes de luz



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 10.

1.7. Fuentes de luz

A continuación se describirán fuentes de luz que han sido importantes en el desarrollo de la iluminación desde lo más básico hasta llegar a las tecnologías actuales.

1.7.1. Lámparas incandescentes

Consiste en un filamento, un alambre que se calienta y resplandece, un foco, una envoltura de cristal y una base.

1.7.2. Lámparas infrarrojas

Redirigen su radiación de otra manera desperdiciada como calor hacia el filamento. Esto resulta en mayor eficiencia. La tecnología infrarroja se usa en algunas lámparas de halógeno tungsteno.

1.7.3. Lámparas de bajo voltaje

La mayoría de las lámparas de bajo voltaje para uso arquitectónico están diseñadas para funcionar a 12 voltios, un voltaje mucho menor que los 120 o 277 voltios normalmente usados en los circuitos de iluminación. Esto deriva en que el filamento de la lámpara de determinado voltaje puede ser mucho menor para un voltaje dado.

La clave de la eficiencia de la iluminación de bajo voltaje es el tamaño pequeño del filamento en la lámpara, ya que permite controlar mejor la luz en luminarias de menor tamaño. El efecto combinado es realmente impresionante. Están fabricadas con la tecnología de tungsteno para aprovechar las ventajas del filamento compacto, alta eficiencia, vida útil prolongada y mantenimiento de la luminosidad. Las lámparas de bajo voltaje requieren un transformador para reducir el alto voltaje del circuito al voltaje de diseño de la lámpara, comúnmente de 12 voltios. Se pueden localizar cuatro familias básicas de lámparas de bajo voltaje: MR, PAR, de reflector de aluminio y de cápsula.

1.7.4. Lámparas fluorescentes

Consiste en un tubo de cristal recubierto con fósforo material fluorescente en la parte interna en donde existe una pequeña cantidad de mercurio, gas

inerte y un electrodo en cada extremo. La corriente eléctrica que fluye de un electrodo al otro crea un arco que excita al mercurio y produce principalmente radiación ultravioleta (UV) no visible, la cual a su vez excita al fósforo para producir luz visible.

1.7.5. Lámparas de alta intensidad de descarga

En las lámparas de descarga, la corriente eléctrica pasa a través de un gas entre dos electrodos localizados en las puntas opuestas de un tubo de descarga. Las colisiones entre los átomos del gas y los electrones libres excitan los átomos del gas, haciendo que incrementen el nivel de energía. Estos átomos excitados posteriormente vuelven a su estado natural liberando el exceso de energía en forma de radiación visible.

- Lámparas de sodio de baja presión: la radiación visible es producida directamente por una descarga de Sodio. Esta emite la mayor parte de su energía en la parte visible del espectro a longitudes de onda de 589 y 589.6 nm (la luz amarilla característica del sodio). Cuando una lámpara de sodio es encendida, genera un color rojizo. Esto es causado por el neón que también está presente en el gas de llenado, el cual sirve para iniciar el proceso de descarga. Estas lámparas deben estar muy bien aisladas del calor, ya que generan poca cantidad de calor por sí mismas. La eficacia de la lámpara es muy alta.
- Lámparas de sodio de alta presión: operan a presiones de gas mucho más altas, creando una mayor interacción interatómica en comparación con las lámparas de baja presión, ampliando así el patrón de radiación emitida. La lámpara de sodio blanco es una lámpara de sodio de muy

alta presión. Esto hace que la radiación amarilla característica de las lámparas de sodio convencionales sea absorbida completamente dejando una luz blanca muy cálida con una gran reproducción de las radiaciones de color rojo.

- Lámparas de mercurio de alta presión : vapor de mercurio concentrado en un tubo de descarga de cuarzo, también conocido como quemador, el cual opera a una presión entre 200 y 1500 kPa. A esta presión el proceso de descarga emite una gran proporción de su energía en la parte visible del espectro (a comparación de las lámparas de mercurio de baja presión que emiten en su mayoría radiación ultravioleta invisible). El tubo de descarga que emite una luz blanca azulosa se encuentra dentro de un bulbo de vidrio, cuya superficie tiene un recubrimiento de polvo fluorescente que emite en su mayoría radiaciones de color rojo, ayudando a mejorar la reproducción de color e incrementando en aproximadamente un 10 % el flujo luminoso.
- Lámparas de halogenuros metálicos con tubo de descarga de cuarzo: han sido desarrolladas a partir de las lámparas de Mercurio de alta presión, al añadir otras sales o metales en el tubo de descarga. Con cada metal, que contiene su propio patrón de radiación, se obtiene como resultado un mejoramiento sustancial de la eficacia de la lámpara y de la calidad del color.
- Lámparas de halogenuros metálicos con tubo de descarga cerámico: caracterizada por tener un tubo de descarga fabricado con materiales cerámicos, en vez de vidrio de cuarzo. Al incorporar el material de cerámica, la lámpara puede ser operada a una temperatura de descarga mayor y también permite una óptima geometría de su quemador o tubo

de descarga. Las dos innovaciones resultaron en un mejoramiento sustancial en la característica del color, su estabilidad y su reproducción.

1.7.6. Color

Las lámparas de halógeno son especialmente eficientes para la iluminación de aparadores de cristal, joyería y alimentos, mientras que las lámparas comunes de bajo voltaje tienen un color más apto para combinarse con las lámparas incandescentes de línea en restaurantes y áreas de estancia. Existen filtros de color para la mayoría de las luminarias de bajo voltaje y proporcionan una amplia serie de efectos visuales. Salvo algunas excepciones, las lámparas de bajo voltaje PAR36 son de filamento ordinario. Estas lámparas tienen un color de alguna forma más cálido, aproximadamente de 2800 °K.

1.8. Características de las fuentes de luz

Las lámparas de descarga de alta intensidad (HID) generan luz al excitar átomos de gas con un arco eléctrico, y emiten (descargan) radiación visible. El término HID incluye lámparas de haluro de metal, lámparas de mercurio y lámparas de sodio de alta presión, cada una de las cuales contiene una mezcla diferente de gas.

1.8.1. Características ópticas

Entre más pequeña sea la fuente direccional y entre más estrecho sea el haz luminoso, mayor será el contraste entre la sombra y la luz. Entre más grande sea la fuente de luz, menos direccional es y mayor es el número de ángulos a los que la luz incide sobre el objeto, lo cual atenúa el contraste. La

bóveda celeste en un día nublado es la mayor fuente posible de luz ya que la luz del sol se encuentra difusa a una luminosidad relativamente uniforme en toda la extensión, lo cual borra las sombras.

1.8.2. Operación

Las lámparas difieren drásticamente en características como voltajes diferentes, variación en la potencia luminosa y duración, y en el uso de equipos auxiliares. Todas estas afectan la aplicabilidad de una fuente de luz para un uso particular.

La potencia luminosa de las lámparas incandescentes varía según el voltaje que recibe la lámpara. A mayor voltaje, mayor potencia luminosa y menor duración.

La potencia luminosa de las lámparas fluorescentes depende de la temperatura ambiente: si la temperatura es muy elevada o muy baja, la potencia luminosa desciende por debajo de la capacidad en lúmenes. Las variaciones extremas en temperatura también afectan el color. El voltaje tiene poco efecto debido al balastro. La duración de la lámpara depende del número de veces que es encendida. La potencia luminosa y la duración de las lámparas HID varían poco con la temperatura o el voltaje. La posición de funcionamiento afecta la potencia luminosa de algunas lámparas.

1.8.3. Regulación de la intensidad e interrupción

Todos los tipos de fuentes de luz permiten la regulación de su intensidad, pero algunos son más sencillos y económicos de regular que otros.

Las lámparas incandescentes pueden regularse fácilmente con reguladores económicos las lámparas de bajo voltaje requieren reguladores de intensidad especiales. La regulación de la intensidad generalmente prolonga la duración de las lámparas. El apagado y el encendido no afectan la duración de las lámparas incandescentes. La mayoría de las lámparas fluorescentes también pueden ser reguladas. Estas requieren balastos y reguladores de intensidad especiales. La regulación de las lámparas fluorescentes es cada vez más popular. Esta no afecta la duración de las lámparas, pero la interrupción frecuente reduce la duración nominal promedio.

Algunas lámparas de alta descarga pueden regularse mediante un equipo costoso especializado.

La regulación de la intensidad de las lámparas HID es muy poco frecuente. Ellas necesitan tiempo para calentarse y enfriarse con cada encendido y apagado, de manera que la interrupción es un problema.

1.8.4. Voltaje

La vida útil efectiva de las lámparas depende del voltaje real que alcance el transformador. El voltaje de salida, a su vez, varía con el vatiaje de la lámpara usada; a mayor vatiaje, menor la salida de voltaje real del

transformador. Si el voltaje hacia la lámpara es mayor que el nominal, la vida útil de ésta será menor.

Por lo tanto, los transformadores de marca están fabricados para optimizar el funcionamiento de ciertos rangos de vatiaje: de 20 a 50 W o de 42 a 75 W. Los transformadores están afinados de manera que la lámpara con el voltaje más bajo detecte el voltaje nominal y la de más alto voltaje detecte el voltaje ligeramente reducido, lo cual prolonga la vida útil de las lámparas.

La reducción del voltaje, de las luminarias de bajo voltaje, se logra mejor con transformadores magnéticos y reductores clasificados para bajo voltaje magnético o cargas inductivas.

El voltaje de los transformadores electrónicos puede reducirse mediante reductores de bajo voltaje electrónicos, los cuales son más costosos y manejan menos vatiaje. Sin embargo, la reducción del voltaje y de línea puede realizarse mediante reductores de bajo voltaje, pero los transformadores magnéticos y electrónicos no deben ser controlados por el mismo reductor. Existen otras limitantes que deben tenerse en cuenta.

1.8.5. Características funcionales

El fósforo es la sustancia química que aparece como polvo blanco dentro del tubo. Cuando es excitado por la radiación ultravioleta, el fósforo produce luz visible. La combinación de fósforo determina la cromaticidad o blancura de la luz.

1.8.6. Equipo auxiliar

Las lámparas fluorescentes son fuentes de luz de descarga, e igual que todas las lámparas de descarga requieren una balastro. El balastro proporciona el voltaje necesario y estabiliza la corriente durante el funcionamiento.

Las balastos también consumen energía que debe tomarse en cuenta al determinar la eficiencia de un sistema de iluminación en particular. Las balastos deben coincidir con las características eléctricas de las lámparas para que funcionen correctamente, es decir, con el tipo de lámpara, vatiaje y voltaje de la línea. Para lograr la precisión en el cálculo de la eficiencia de las lámparas, los vatios del balastro deben sumarse a los de la lámpara.

1.8.7. Factor de potencia

El factor de potencia indica la eficiencia con la que se utiliza la generación y la distribución de potencia. Por definición, es la relación de la potencia real a la potencia aparente suministrada a cualquier sistema eléctrico en donde la potencia real son los vatios de entrada, medidos con un vatímetro, y la potencia aparente es el producto del número de voltios multiplicado por el número de amperios suministrados por la línea eléctrica.

Los balastos pueden ser de factor de potencia bajo o de factor de potencia alto.

Los balastos de factor de potencia bajo 40 % a 50 % requieren más corriente y consecuentemente cables de mayor calibre o menos luminarias por

circuito. Los balastos de factor de potencia alto 90 % a 95 % permiten usar cables de menor calibre o más luminarias por circuito.

Los balastos de factor de potencia alto se especifican normalmente para instalaciones comerciales debido a su bajo consumo de corriente. Los balastos de factor de potencia bajo se usan comúnmente en residencias debido a su bajo costo inicial.

1.9. Balastos electrónicos

Aumentan la eficiencia de los sistemas, lo cual produce mayor eficiencia energética y menores costos de servicio. Los balastos electrónicos reciben una potencia de alimentación de 60 Hz en 120 v o 277 v y la convierten en alta frecuencia 20 kHz a 40 kHz. Las lámparas fluorescentes funcionan con mayor eficiencia con balastos electrónicas que con magnéticas. El funcionamiento a altas frecuencias de los balastos electrónicas reduce las pérdidas finales, lo cual resulta en un aumento de la eficiencia del sistema del 15 % al 20 %, realizando el comparativo de electrónico vs magnético.

1.9.1. Distorsión armónica total (THD)

Está presente en la mayoría de los equipos eléctricos y electrónicos. La THD es la medida de la distorsión creada cuando un sistema toma corriente de la línea eléctrica.

La corriente debe tomarse a la frecuencia fundamental 60 Hz en Guatemala también combinada con corrientes armónicas que son múltiplos de

la fundamental, es decir, 180 Hz, 300 Hz y 420 Hz tercera, quinta y séptima armónica, y así sucesivamente.

El número de la THD representa el valor efectivo de todas las corrientes armónicas acumuladas, comparado con el valor de la corriente fundamental. Por ejemplo, una TDH del 20 % significa que la corriente armónica es igual al 20 % de la corriente fundamental total. La norma ANSI C82.11 requiere que la THD máxima de los balastos electrónicos no sea mayor de 32 %.

1.9.2. Balastos de descarga de alta intensidad (HID)

Las lámparas HID requieren balastos para regular la corriente y suministrar el voltaje adecuado al arco. Las lámparas grandes de haluro metálico tienen un electrodo de encendido integrado dentro de la lámpara para iniciar el arco. Las lámparas pequeñas de haluro metálico y las lámparas de sodio de alta presión no contienen electrodos de encendido sino un impulso de alto voltaje que asociado con el balastro proporciona estas condiciones de inicio. Algunas veces se denomina impulso de encendido.

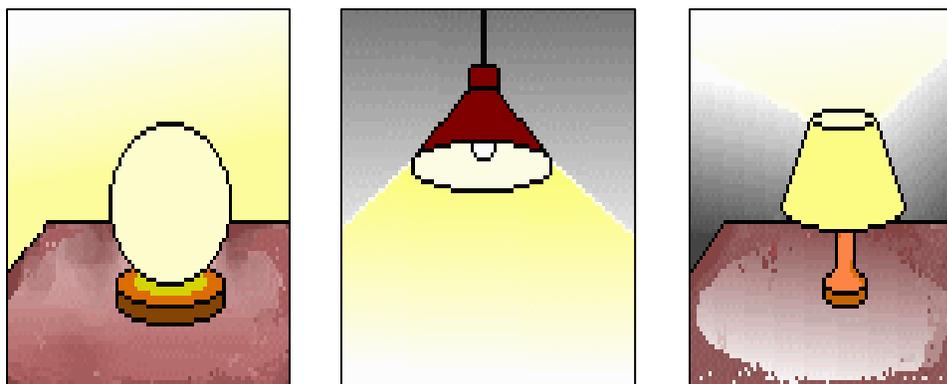
Las balastos para las lámparas HID pueden estar integradas en el cuerpo de las luminarias como núcleo y bobina o encerrados en su propio compartimiento metálico. Esto resulta útil cuando se prefiere que el balastro esté separado de la caja. Actualmente hay algunos balastos electrónicos disponibles para lámparas HID. Su principal beneficio es el manejo más preciso del vatiaje del tubo del arco de la lámpara durante la vida útil; esto resulta en un color más consistente y vida útil prolongada de la lámpara. Salvo algunas excepciones, el funcionamiento a alta frecuencia no incrementa la eficiencia de las lámparas HID.

2. FOTOMETRÍA

2.1. Curvas polares

En fotometría se mencionan magnitudes y unidades de medida se definen una serie de términos y leyes que describen el comportamiento de la luz y sirven como herramientas de cálculo. Pero no se debe de olvidar que las hipótesis utilizadas para definirlos son muy restrictivas (fuente puntual, distribución del flujo esférica y homogénea y otras. Aunque esto no invalida los resultados y conclusiones obtenidas, obliga a buscar nuevas herramientas de trabajo que describan mejor la realidad, como son las tablas, figuras o programas informáticos. De todos los inconvenientes planteados, el más grave se encuentra en la forma de la distribución del flujo luminoso que depende de las características de las lámparas y luminarias empleadas.

Figura 12. **Influencia de la luminaria en la gorma del haz de luz**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 78.

A menudo no se le dará mucha importancia al tema, como pasa en la iluminación de interiores, pero será fundamental si se quiere optimizar la instalación o en temas como la iluminación de calles, decorativa, de industrias o de instalaciones deportivas.

A continuación se presentan figuras más habituales en luminotecnia:

- Figura polar o curva de distribución luminosa.

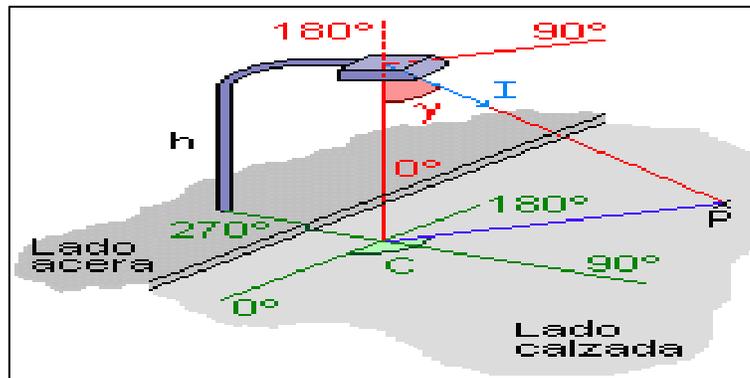
- Figuras isocandela.
 - Alumbrado por proyección.
 - Alumbrado público. Proyección azimutal de Lambert.

- Curvas isolux.

2.1.1. Curvas de distribución luminosa

En estas figuras la intensidad luminosa se representa mediante un sistema de tres coordenadas (I, C, γ). La primera de ellas I , representa el valor numérico de la intensidad luminosa en candelas e indica la longitud del vector, mientras las otras señalan la dirección. El ángulo C indica en qué plano vertical se encuentra γ mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. En este último 0° señala la vertical hacia abajo, 90° la horizontal y 180° la vertical hacia arriba. Los valores de C utilizados en las gráficas no se suelen indicar salvo para el alumbrado público. En este caso, los ángulos entre 0° y 180° quedan en el lado de la calzada y los comprendidos entre 180° y 360° en la acera; 90° y 270° son perpendiculares al bordillo y caen respectivamente en la calzada y en la acera.

Figura 13. **Curvas de distribución luminosa**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 12.

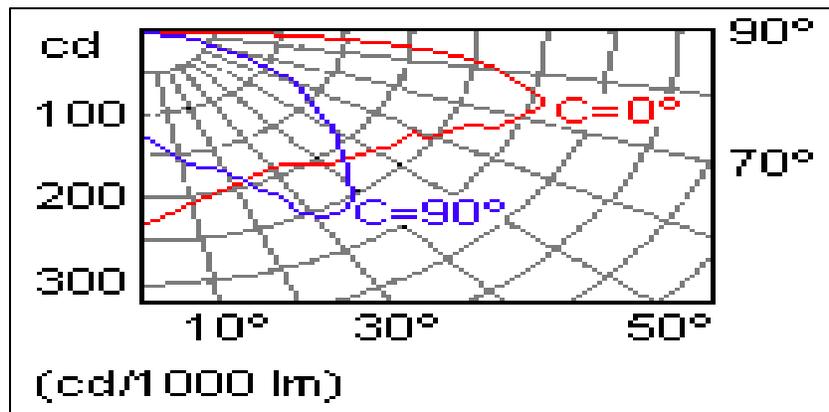
Con un sistema de tres coordenadas es fácil pensar que más que una representación plana se tendría una tridimensional. De hecho, esto es así y si se personaliza en el espacio todos los vectores de la intensidad luminosa en sus respectivas direcciones y si se unen después los extremos, se puede obtener un cuerpo llamado sólido fotométrico. Pero trabajado en tres dimensiones es muy incómodo, se debe cortar el sólido con planos verticales para diferentes valores de C (suelen ser uno, dos, tres o más dependiendo de las simetrías de la figura) y se reduce a la representación plana de las curvas más características.

En la curva de distribución luminosa, los radios representan el ángulo γ y las circunferencias concéntricas el valor de la intensidad en candelas. De todos los planos verticales posibles identificados por el ángulo C , solo se suelen representar los planos verticales correspondientes a los planos de simetría y los transversales a estos ($C = 0^\circ$ y $C = 90^\circ$) y aquel en que la lámpara tiene su máximo de intensidad. Para evitar tener que hacer una figura para cada lámpara cuando solo varía la potencia de esta, las figuras se normalizan para una lámpara de referencia de 1000 lm

$$I_{\text{real}} = \phi_{\text{lámpara}} * \frac{I_{\text{grafico}}}{1000}$$

Para conocer los valores reales de las intensidades bastará con multiplicar el flujo luminoso real de la lámpara por la lectura, en la figura y dividirlo por 1 000 lm.

Figura 14. **Gráfico de valores 1000 lm**

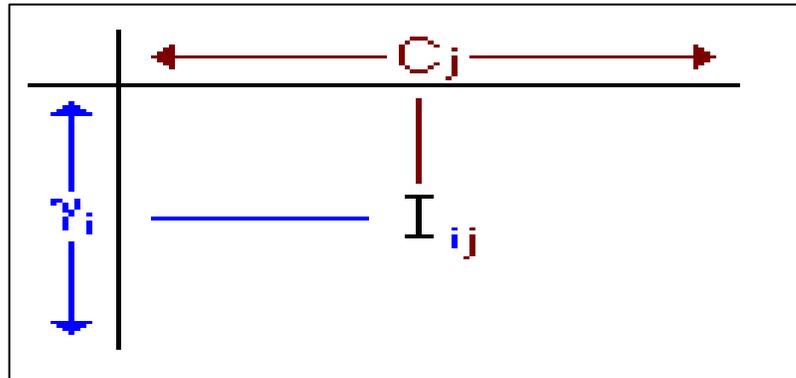


Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

2.1.2. Matriz de intensidades luminosas

También es posible encontrar estos datos en unas tablas llamadas matriz de intensidades luminosas donde para cada pareja de valores de C y γ se obtiene un valor de I normalizado para una lámpara de flujo de 1000 lm.

Figura 15. **Matriz de intensidad luminosa**



Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

2.1.3. **Diagramas isocandela**

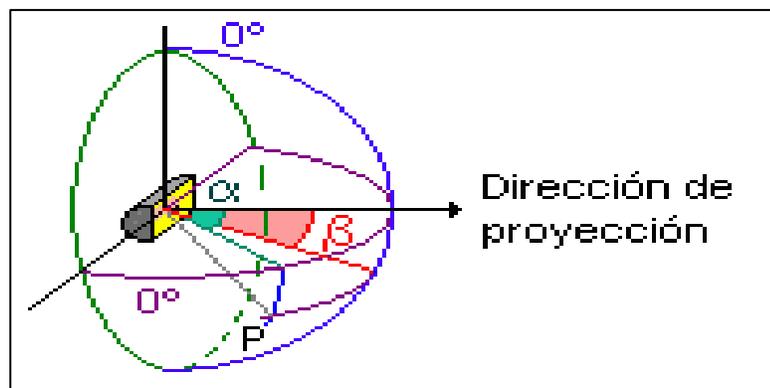
A pesar de que las curvas de distribución luminosa son herramientas muy útiles y prácticas.

Estas presentan el gran inconveniente de que solo dan información de lo que ocurre en unos pocos planos meridionales (para algunos valores de C) y no se sabe a ciencia cierta qué pasa en el resto. Para evitar estos inconvenientes y conjugar una representación plana con información sobre la intensidad en cualquier dirección se definen las curvas isocandela. En los figuras isocandelas se representan en un plano, mediante curvas de nivel, los puntos de igual valor de la intensidad luminosa. Cada punto indica una dirección del espacio definida por dos coordenadas angulares. Según cómo se escojan estos ángulos, se distinguen dos casos:

- Proyectores para alumbrado por proyección.
- Luminarias para alumbrado público. Proyección azimutal de Lambert.

En los proyectores se utiliza un sistema de coordenadas rectangulares con ángulos en lugar de las típicas x e y. Para situar una dirección se utilizan sistema de meridianos y paralelos similar al que se usa con la Tierra.

Figura 16. **Diagrama de dirección de proyección**

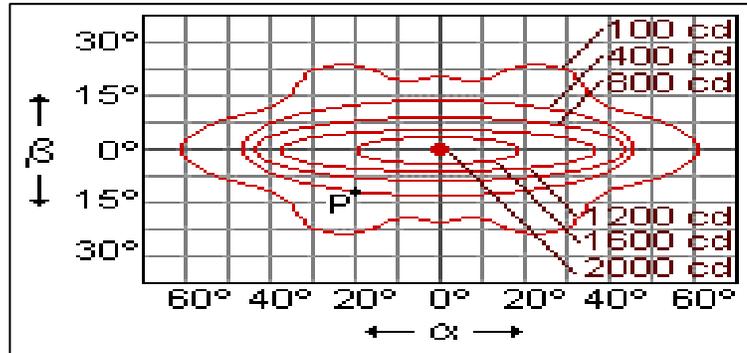


Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

El paralelo 0° se hace coincidir con el plano horizontal que contiene la dirección del haz de luz y el meridiano 0° con el plano perpendicular a este. Cualquier dirección, queda pues definida por sus dos coordenadas angulares.

Conocidas estas se sitúan los puntos sobre la figura y se unen aquellos con igual valor de intensidad luminosa formando las líneas isocandelas.

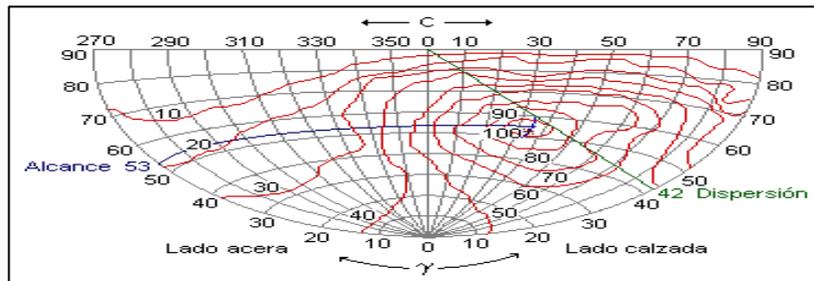
Figura 17. Diagrama de líneas isocandelas



Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

En las luminarias para alumbrado público, para definir una dirección, se utilizan los ángulos C y γ usados en las figuras polares. Se supone la luminaria situada dentro de una esfera y sobre ella se dibujan las líneas isocandelas. Los puntos de las curvas se obtienen por intersección de los vectores de intensidad luminosa con la superficie de esta. Para la representación plana de la superficie se recurre a la proyección azimutal de Lambert.

Figura 18. Diagrama de proyección azimutal de Lambert



Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

En estas figuras los meridianos representan el ángulo C, los paralelos γ y las intensidades, líneas rojas, se reflejan en tanto por ciento de la intensidad máxima. Como en este tipo de proyecciones las superficies son proporcionales a las originales, el flujo luminoso se calcula como el producto del área en la figura (en estereorradianes) por la intensidad luminosa en ella. Además de intensidades y flujos, esta figura informa sobre el alcance y la dispersión de la luminaria. El alcance da una idea de la distancia longitudinal máxima que alcanza el haz de luz en la calzada mientras que la dispersión se refiere a la distancia transversal.

2.1.4. Curvas isolux

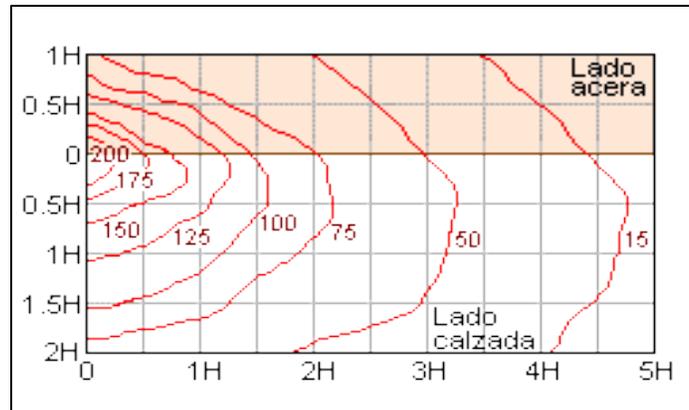
Las curvas vistas en los apartados anteriores, figuras polares e isocandelas, se obtienen a partir de características de la fuente luminosa, flujo o intensidad luminosa, y dan información sobre la forma y magnitud. Al contrario de, las curvas isolux hacen referencia a las iluminancias, flujo luminoso recibido por una superficie, datos que se obtienen experimentalmente o por cálculo a partir de la matriz de intensidades usando la fórmula:

$$E_H = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} \cdot \cos \gamma^3$$

Estas figuras son muy útiles porque dan información sobre la cantidad de luz recibida en cada punto de la superficie de trabajo y son utilizadas especialmente en el alumbrado público donde, de un vistazo, se hace una idea de cómo iluminan las farolas la calle.

Lo más habitual es expresar las curvas isolux en valores absolutos definidos para una lámpara de 1 000 lm y una altura de montaje de 1 m.

Figura 19. **Diagrama curvas isolux**



Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

Los valores reales se obtienen a partir de las curvas usando la expresión:

$$E_{\text{Hreal}} = E_{\text{curva}} \cdot \frac{\Phi_{\text{Lreal}}}{1000} \cdot \frac{1}{H^2}$$

También puede expresarse en valores relativos a la iluminancia máxima (100 %) para cada altura de montaje. Los valores reales de la iluminancia se calculan como:

$$E_{\text{real}} = E_{\text{curva}} \cdot E_{\text{máx}}$$

$$E_{\text{máx}} = a \cdot \frac{\Phi_{\text{Lreal}}}{H^2}$$

Siendo a un parámetro suministrado con las gráficas.

2.2. Fotometría

Es la ciencia encargada de estudiar la capacidad que tiene la radiación electromagnética, solamente dentro del rango visible del espectro, para estimular al ojo humano. Es decir, se encarga de medir la intensidad de la luz.

La fotometría define la forma y dirección de la distribución de la luz emitida por la lámpara en el espacio.

Esta información, ya sea en forma de tablas o curvas, se utiliza para conocer de antemano como se distribuye la luz y poder hacer una correcta selección de los sistemas de iluminación en la etapa de diseño del proyecto. Los datos fotométricos estarán proporcionándose por los fabricantes, ya que su cálculo se realiza en laboratorios con aparatos específicos como se verá más adelante.

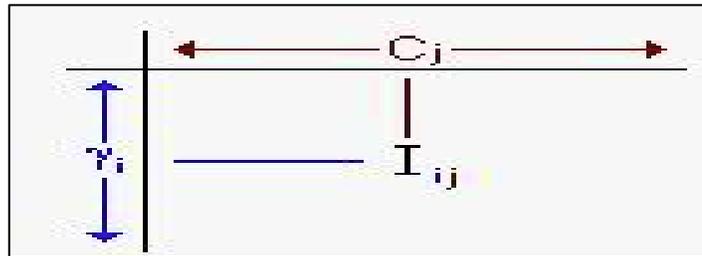
2.2.1. Curvas fotométricas

La representación de los valores de la intensidad calculados se pueden representar por:

- Matriz de intensidades: los valores de la intensidad luminosa pueden encontrarse tabulados de forma matricial para distintas direcciones del espacio. Cada fabricante debe proporcionar la matriz calculada previamente. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de matriz de intensidades del tipo C- γ correspondiente a una luminaria de alumbrado público. Los ejes de referencia C- γ corresponden al plano vertical (C) y la inclinación respecto al eje vertical (γ). Para cada pareja de valores de C y

y se obtiene un valor de la intensidad normalizado para una lámpara de flujo 1 000 lm.

Figura 20. Matriz de intensidad



Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

Tabla I. Matriz de intensidades

	C 270,0	C 285,0	C 300,0	C 310,0	C 315,0	C 320,0	C 325,0	C 330,0	C 335,0
G 0,0	241,00	241,00	241,00	241,00	241,00	241,00	241,00	241,00	241,00
G 10,0	179,00	177,00	181,00	187,00	190,34	194,00	197,37	201,00	205,21
G 20,0	150,00	148,00	147,00	148,00	150,50	153,00	155,99	162,00	172,60
G 30,0	127,00	129,00	130,00	131,00	132,02	134,00	137,70	145,00	149,94
G 35,0	114,00	120,00	119,00	121,00	123,66	127,00	131,51	137,00	143,54
G 40,0	107,00	111,00	112,00	117,00	117,98	120,00	123,80	129,00	135,19
G 45,0	98,00	102,00	101,00	107,00	110,92	114,00	116,00	119,00	126,98
G 47,5	99,00	96,00	97,00	102,00	107,74	112,00	114,15	117,00	125,16
G 50,0	91,00	91,00	94,00	99,00	104,72	109,00	111,33	115,00	122,70
G 52,5	83,00	85,00	92,00	97,00	101,72	106,00	109,85	115,00	122,64
G 55,0	75,00	78,00	89,00	95,00	97,97	103,00	108,22	114,00	120,54
G 57,5	67,00	70,00	84,00	91,00	95,35	100,00	105,21	111,00	117,30
G 60,0	58,00	61,00	79,00	87,00	91,21	96,00	101,75	108,00	114,30
G 62,5	47,00	53,00	72,00	83,00	87,79	93,00	98,87	105,00	111,11
G 65,0	36,00	43,00	59,00	76,00	82,54	89,00	95,25	101,00	106,34
G 67,5	24,00	33,00	47,00	65,00	76,21	84,00	90,99	97,00	102,31
G 70,0	13,00	24,00	33,00	58,00	68,34	78,00	86,36	93,00	98,21
G 72,5	10,00	17,00	21,00	44,00	58,37	72,00	83,64	90,00	99,30
G 75,0	6,00	10,00	11,00	30,00	47,91	61,00	69,90	75,00	82,10
G 77,5	3,00	5,00	5,00	17,00	30,05	39,00	39,00	39,00	36,34
G 80,0	0,00	2,00	2,00	9,00	15,47	19,00	17,72	14,00	10,78
G 82,5	0,00	0,00	0,00	2,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,30
G 85,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 87,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 90,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,50	0,25	0,00	0,00
G 92,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 95,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 97,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 100,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 102,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 105,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 107,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 110,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 112,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 115,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 117,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 120,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 122,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 125,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 127,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 130,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 132,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 135,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 137,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 140,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 142,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 145,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 147,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 150,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 152,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 155,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 157,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 160,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 162,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 165,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 167,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 170,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 172,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 175,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 177,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G 180,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

Ejemplo:

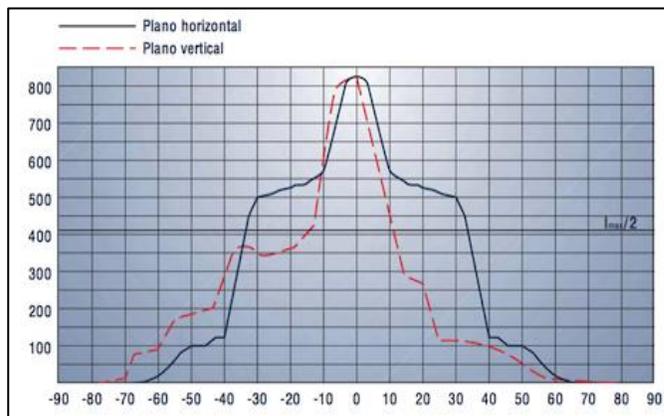
Para un ángulo $C=270^\circ$ y un ángulo $\gamma=10^\circ$, la intensidad en esa dirección es de 179 [cd/klm].

- Figuras cartesianas: describen las características de los proyectores. Se clasifican en función de su apertura del haz.

Están representados en el sistema de coordenadas B-beta, y aparecen 3 líneas:

- Plano horizontal
- Plano vertical
- Mitad de la intensidad máxima

Figura 21. **Gráfico cartesiano**

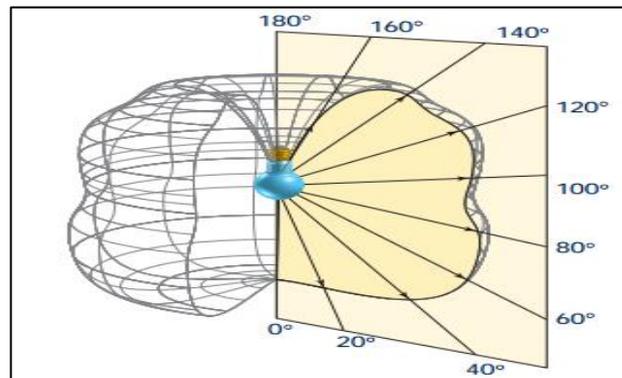


Fuente: HOFMANN, Harold. *Cómo planificar con luz*. p. 25.

- Curvas polares: el volumen formado por las tres coordenadas: intensidad luminosa (I), plano vertical (C) e inclinación respecto al eje vertical (γ),

forman el sólido fotométrico, que determina la distribución de la luminaria en todo el espacio.

Figura 22. **Sólido fotométrico**



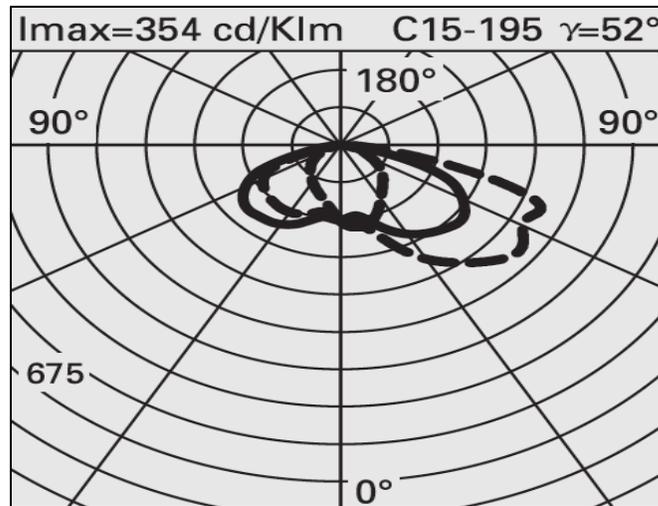
Fuente: HOFMANN, Harold. *Cómo planificar con luz*. p 25.

Como es complicado trabajar en tres dimensiones, para simplificar el trabajo, se realizan cortes al sólido fotométrico de modo que se obtiene una curva en dos dimensiones, conocida como curva polar, mucho más sencilla de comprender.

Normalmente la curva polar representa los dos planos verticales: el transversal (0°) y longitudinal (90°), aunque si la intensidad máxima no está contenida en estos dos planos, se representa también la curva polar del plano que la contiene.

El centro del figura polar tiene intensidad 0, no hay luz, por lo que el valor de intensidad máxima será el punto que esté más alejado del centro.

Figura 23. **Curva polar**

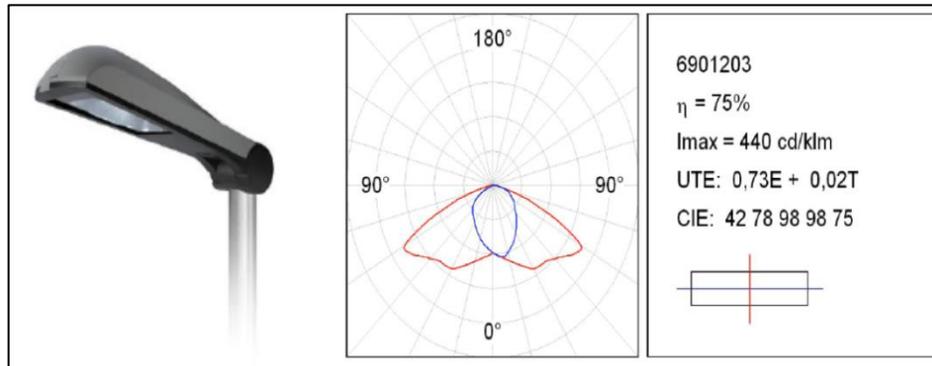


Fuente: HOFMANN, Harold. *Cómo planificar con luz*. p. 27.

Nota: para que sea posible comparar diferentes intensidades de fuente de luz, normalmente las curvas están referidas a un flujo de 1 000 lúmenes. Para conocer el valor real de la intensidad es necesario realizar el cálculo:

$$I_{\text{real}} = f_{\text{lámpara}} * \frac{L_{\text{grafico}}}{1000}$$

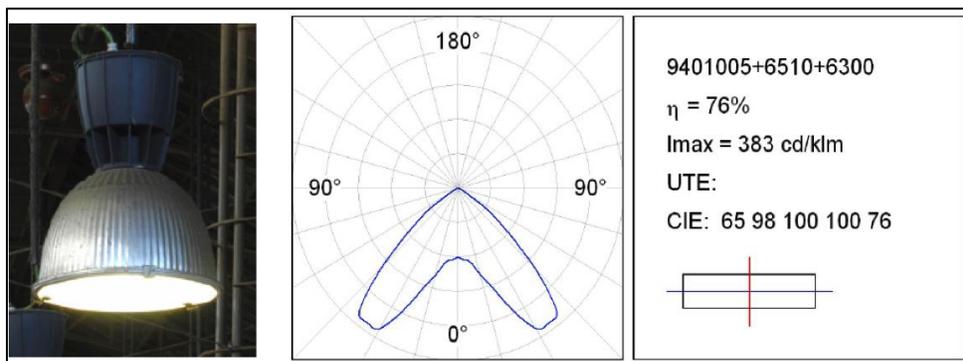
Figura 24. **Curva polar de luminaria de alumbrado público**



Fuente: VARGAS, Luisa. *Iluminación dinámica*. p. 2.

Cuando la distribución luminosa es la misma en todos los planos verticales, la curva polar es simétrica y se representa solo por una curva, como se observa a continuación.

Figura 25. **Curva polar de luminaria para iluminación industrial**



Fuente: VARGAS, Luisa. *Iluminación dinámica*. p. 2.

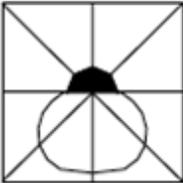
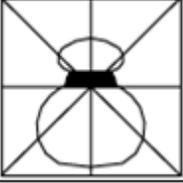
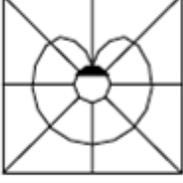
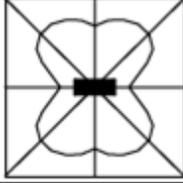
2.3. Clasificación de las luminarias según la fotometría

Las características de la distribución luminosa permite clasificar las luminarias en grupos que tienen parecidas propiedades: La CIE establece una clasificación de las luminarias en función de su distribución.

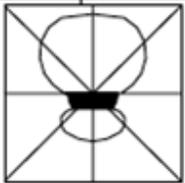
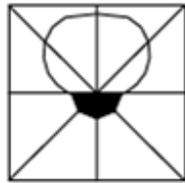
2.3.1. Clasificación de las luminarias de interior

Clasifican en función del porcentaje de flujo luminoso emitido hacia el hemisferio superior y hemisferio inferior.

Figura 26. Distribución de flujo luminoso

I	% FHSi	% FHI	Distribución del flujo
Directa	0-10	90-100	
Semidirecta	10-40	60-90	
General Difusa	40-60	40-60	
Directaindirecta	40-60	40-60	

Continuación de la figura 26.

Semiindirecta	60-90	10-40	
Indirecta	90-100	0-10	

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

Las luminarias de interior también se clasifican en función de la apertura del haz:

Tabla II. **Clasificación de luminarias interior en función del ángulo del haz**

Apertura haz	Definición
0° - 30°	Intensiva
30° - 40°	Semi-intensiva
40° - 50°	Dispersora
50° - 60°	Semi-extensiva
60° - 70°	Extensiva
70° - 90°	Híper-extensiva

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

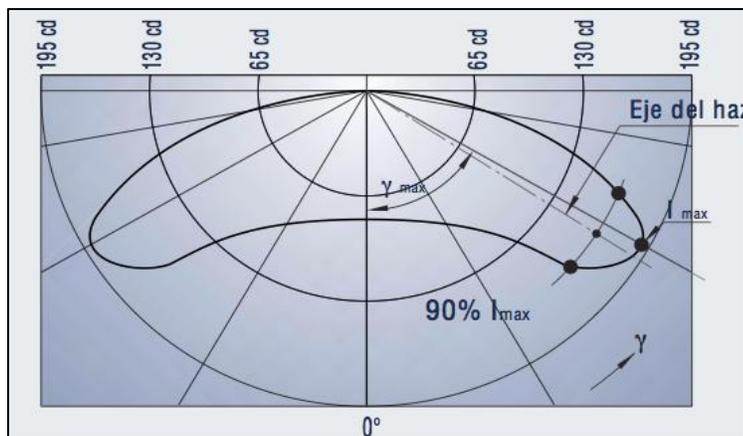
2.3.2. Clasificación de las luminarias de alumbrado público

La CIE define las luminarias en función de tres características: alcance, apertura y control.

- El alcance de la luminaria es la distancia que alcanza la luz en dirección longitudinal. El ángulo γ (máx.) es el ángulo máximo que está definido por la vertical dirigida hacia abajo y el eje del haz, que se calcula en el plano de intensidad máxima como la bisectriz del ángulo que forman las direcciones para el 90 % de la intensidad máxima.

Con el criterio del alcance, se determina la separación entre postes y luminarias. Un alcance largo permite obtener mayor separación y por el contrario, un alcance corto reduce la interdistancia.

Figura 27. Diagrama de alcance



Fuente: HOFMANN, Harold. *Cómo planificar con luz*. p. 28.

En función del ángulo γ (máx.), las luminarias se clasifican en luminarias de alcance corto, medio o largo.

Tabla III. Alcance en función del ángulo γ

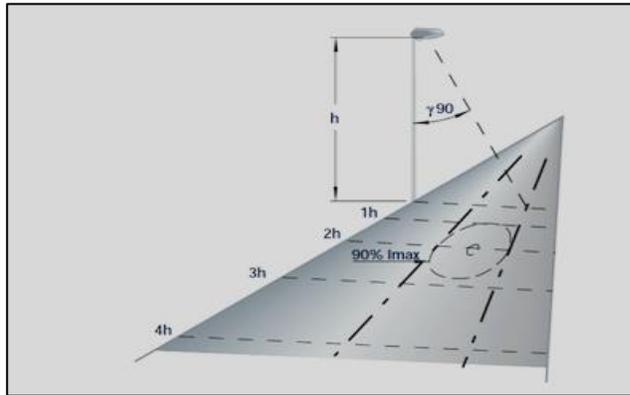
Alcance	$\gamma_{(max)}$
Alcance corto	$\gamma_{(max)} < 60^\circ$
Alcance medio	$70^\circ > \gamma_{(max)} > 60^\circ$
Alcance largo	$\gamma_{(max)} > 70^\circ$

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

- La apertura es la distribución de fotométrica en sentido transversal de la vía está definida por la línea, paralela a la calzada, que es tangente a la curva del 90 % de la intensidad máxima proyectada sobre la calzada. De las dos posibles soluciones siempre se elige la que está más alejada de la luminaria.

Con el criterio de la apertura se determina la altura de montaje, el poste para el montaje de la luminaria y la potencia de la fuente de luz.

Figura 28. **Apertura de la luminaria**



Fuente: HOFMANN, Harold. *Cómo planificar con luz*. p. 28.

En función del grado de apertura las luminarias se clasifican en:

Tabla IV. **Apertura de luminaria**

Apertura	$\gamma_{(90)}$
Apertura estrecha	$\gamma_{(90)} < 45^\circ$
Apertura media	$55 > \gamma_{(90)} > 45^\circ$
Apertura ancha	$\gamma_{(90)} > 55^\circ$

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

Nota: para el cálculo de la apertura del haz se considera que la intensidad disminuye un 10 % o un 50 % de su valor máximo.

El control de la luminaria indica la capacidad para controlar el deslumbramiento. Se define mediante el SLI (índice específico de la luminaria).

El SLI se calcula como:

$$SLI=13.84-3.31*\log(I_{so})+1*\log(I_{so}/I_{ss})0.5-0.08*\text{Log}(I_{so}/I_{ss})+1.29*\log(F) + C$$

Dónde:

- I80: intensidad luminosa emitida a un ángulo de elevación $\gamma=80^\circ$ en el plano de la calzada.
- I88: intensidad luminosa emitida a un ángulo de $\gamma=88^\circ$
- F: superficie de la luminaria vista bajo un ángulo de 76°
- C: factor de corrección de color que tenga la lámpara

En función del grado de control las luminarias se clasifican en:

Tabla V. Tipos de grado de control

Grado de control	SLI
Control limitado	$SLI < 2$
Control moderado	$4 > SLI > 2$
Control estricto	$SLI > 4$

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

Las definiciones anteriores se resumen en la siguiente tabla:

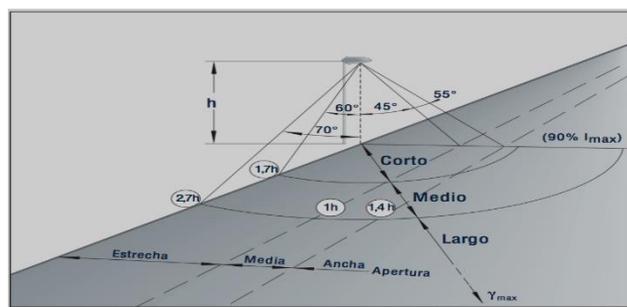
Tabla VI. Grados de control

Alcance	Apertura	Grado de control
corto $\gamma_{(\max)} < 60^\circ$	estrecha $\gamma_{(90)} < 45^\circ$	limitado $SLI < 2$
medio $70^\circ > \gamma_{(\max)} > 60^\circ$	media $55 > \gamma_{(90)} > 45^\circ$	estricto $SLI > 4$
largo $\gamma_{(\max)} > 70^\circ$	ancha $\gamma_{(90)} > 55^\circ$	moderado $4 > SLI > 2$

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

La figura siguiente muestra los diferentes grados de alcance y apertura, donde h es la altura de montaje. Por ejemplo, si se desea iluminar una calle estrecha con una buena uniformidad, la apertura deberá tener un ángulo $\gamma_{(90)} < 45^\circ$ y el alcance corto con un número elevado de luminarias. Otra posibilidad es aumentar el alcance para reducir el número de luminarias.

Figura 29. Apertura de la luminaria



Fuente: HOFMANN, Harold. *Cómo planificar con luz*. p. 28.

2.4. Clasificación de proyectores

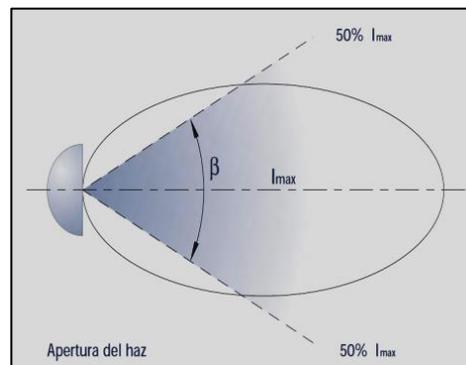
Se clasifican en tres grupos en función de la distribución de la luz: con simetría, de rotación simétrica y asimétrica, como ya se comentó en el apartado de luminarias. También se clasifican en función de la apertura del haz en: estrecho, medio o ancho. El ángulo de haz de un proyector es el ángulo entre las dos direcciones en que la intensidad luminosa disminuye hasta un porcentaje, generalmente 50 % o 10 % de su valor de pico.

Tabla VII. **Apertura del haz**

Descripción	Apertura del haz
Haz estrecho	$\leq 20^\circ$
Haz medio	20° a 40°
Haz ancho	$\geq 40^\circ$

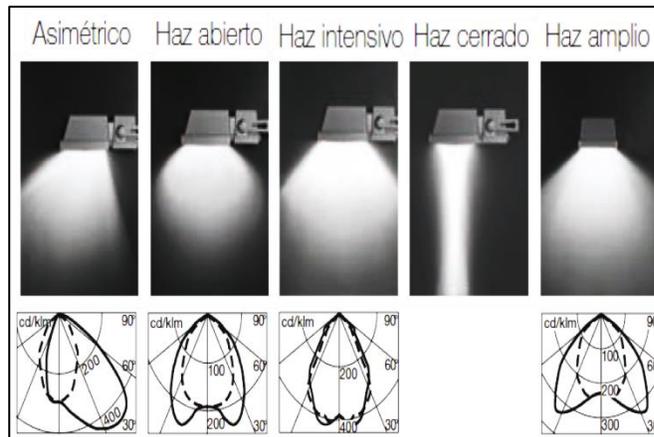
Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

Figura 30. **Apertura del haz**



Fuente: HOFMANN, Harold. *Cómo planificar con luz*. p. 29.

Figura 31. Tipos de proyector



Fuente: VARGAS, Luisa. *Iluminación dinámica*. p. 4.

La nomenclatura de los proyectores es la siguiente: cuando el proyector es simétrico basta con dar un ángulo de apertura, por ejemplo 20° , esto implica 10° a cada lado del eje del haz.

Cuando el proyector es asimétrico se necesitan dos cifras para definir la apertura del haz. Por ejemplo $15^\circ/30^\circ$, indican la apertura del haz en dos planos de simetría perpendiculares entre sí. El primero corresponde al plano vertical y el segundo corresponde al plano horizontal.

Según la CIE el modo de clasificar los proyectores en función de haz viene dado por la nomenclatura siguiente:

Tabla VIII. **Clasificación de proyectores según la CIE**

Categoría	Apertura del haz
NN	$< 5^\circ$
N	$5^\circ - 10^\circ$
1	$11^\circ - 18^\circ$
2	$19^\circ - 29^\circ$
3	$30^\circ - 46^\circ$
4	$47^\circ - 70^\circ$
5	$71^\circ - 100^\circ$
6	$101^\circ - 130^\circ$
7	$> 130^\circ$

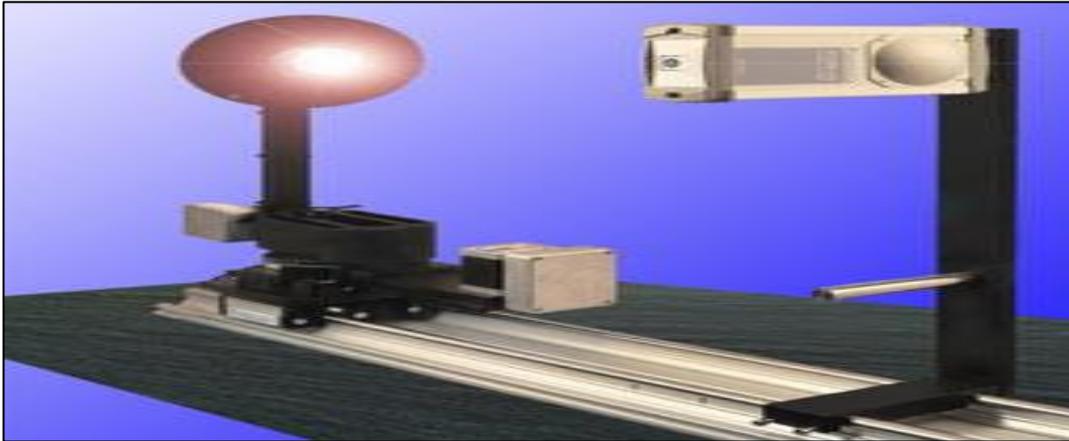
Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

Por ejemplo, una luminaria H4V2 significa que tiene un ancho de haz en el plano horizontal entre $47^\circ - 70^\circ$ y en el plano vertical de $19^\circ - 29^\circ$.

2.5. **Sistemas de montaje del fotogoniómetro**

Las medidas de las magnitudes se calculan con un gonio fotómetro o fotogoniómetro como el que se muestra en la figura 32. Es un montaje de laboratorio en el que se realizan pruebas normalizadas a las luminarias.

Figura 32. **Gonio fotómetro**



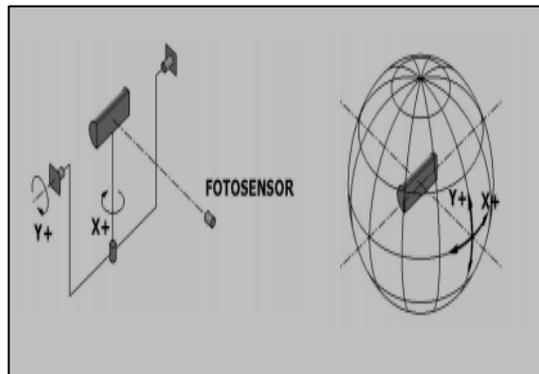
Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación*. p. 4.

Existen varios tipos de sistemas de montaje del fotogoniómetro que aportarán las medidas que se detallan a continuación.

2.5.1. Fotogoniómetro tipo A (mediciones X-Y)

Este sistema de eje horizontal fijo, como se observa en la figura 33, tiene una rotación de la luminaria alrededor del eje horizontal fijo Y. La luminaria también tiene la posibilidad de girar alrededor del eje vertical X de modo que se completa la esfera sobre la cual se obtienen los datos de la intensidad.

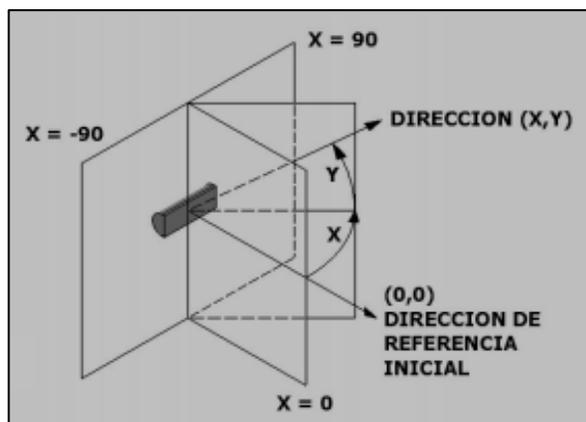
Figura 33. **Gonifotómetro A**



Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación*. p. 5.

En este sistema de coordenadas, los ángulos entre los planos son los llamados X y los ángulos medios en un plano se denominan Y.

Figura 34. **Gonifotómetro B1**

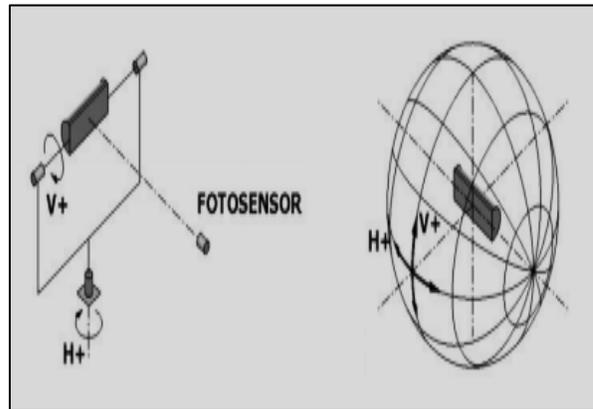


Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación*. p. 5.

2.5.2. Fotogoniómetro tipo B (mediciones V-H)

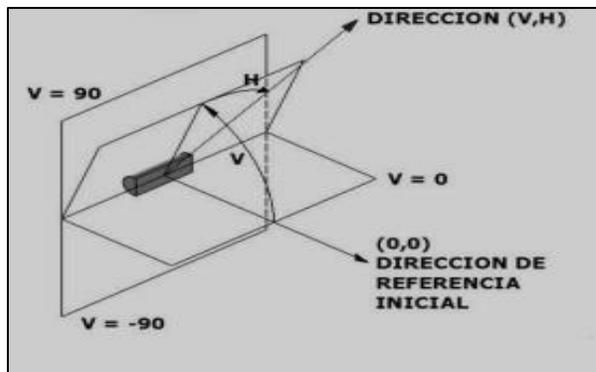
Este sistema calcula los valores del mismo modo que el anterior pero en este caso el sistema fijo es el vertical. En el sistema de coordenadas, los ángulos entre planos se denominan V y los ángulos intermedios H. Este tipo de fotometría es el utilizado principalmente en el cálculo de las medidas de los proyectores.

Figura 35. **Gonifotómetro B2**



Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación*. p. 6.

Figura 36. **Gonifotómetro B3**



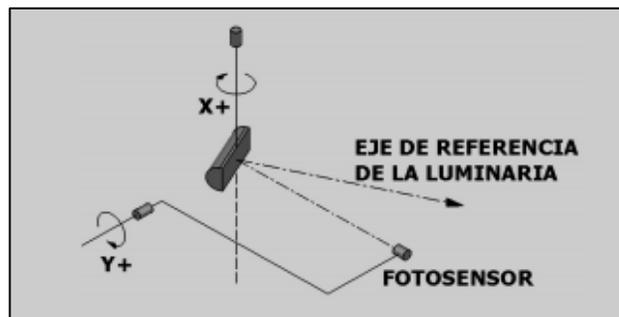
Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación*. p. 6.

2.5.3. Fotogoniómetro tipo C (mediciones C- γ)

Este sistema de coordenadas es el más utilizado y recomendado por la CIE. La coordenada C representa el ángulo que presentan los planos de rotación y γ representa los planos de elevación de la luminaria.

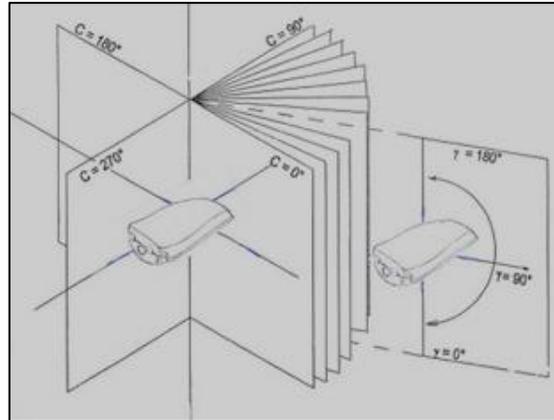
Existe una variante de este tipo de goniómetro, consta de una foto sensor responsable de la toma de datos o un espejo móvil alrededor del eje horizontal. La luminaria está suspendida y solo puede moverse alrededor de un eje vertical. Este tipo de medidas se realizan para luminarias de alumbrado público y de interior.

Figura 37. **Gonifotómetro C1**



Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación*. p. 7.

Figura 38. **Gonifotómetro C2**



Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación*. p. 7.

2.5.4. **Archivo informático**

Para el cálculo informático de las instalaciones de alumbrado así como para la realización de las figuras precedentes, son necesarios los datos de cada una de las luminarias: fabricante, modelo, código, lámpara, reglaje, tipo de ensayo y la matriz de intensidades.

En la actualidad, existen varios formatos de archivo que se diferencian en la forma en la que se almacena la información. Para interpretarlos será necesario el correspondiente software. Los formatos más extendidos son:

Tabla IX. **Formatos de archivo informático**

Formato	País	Extensión
Eulumdat	Alemania	*.ldt
CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers)	Inglaterra	*.tml
IESNA (Illuminating Engineering Society)	Estados Unidos	*.ies

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica ULPGC.

2.6. Visión

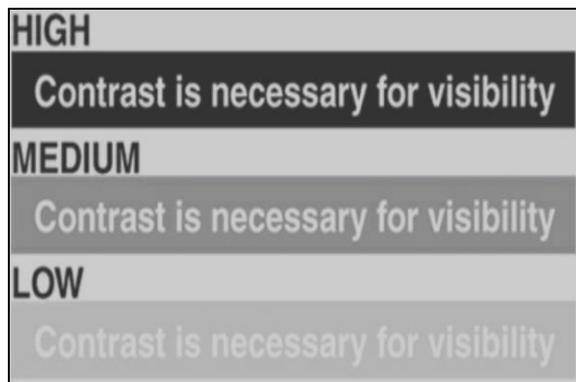
Dentro del campo visual se puede mencionar los siguientes conceptos, estos se utilizan diariamente y de forma automática por el cerebro a tal punto que se convierte en algo normal.

2.6.1. Luminosidad

Para poder ver, debe haber luz, un objeto, un receptor (el ojo) y un decodificador (el cerebro). No se ve la iluminancia ni las candelas pie; más bien vemos la luminosidad que resulta de la luz transmitida o reflejada por una superficie. Esta luminosidad se denomina luminancia y se mide en candelas por metro cuadrado (cd/m²).

Siempre existe una interacción sustractiva entre una superficie y la luz que incide sobre ella; es decir, parte de la luz siempre se pierde debido a la absorción.

Figura 39. **Contrastes de luz**

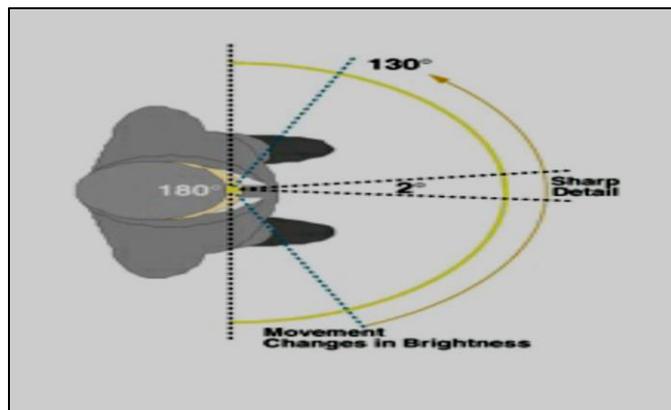


Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 6

2.6.2. **Campo visual**

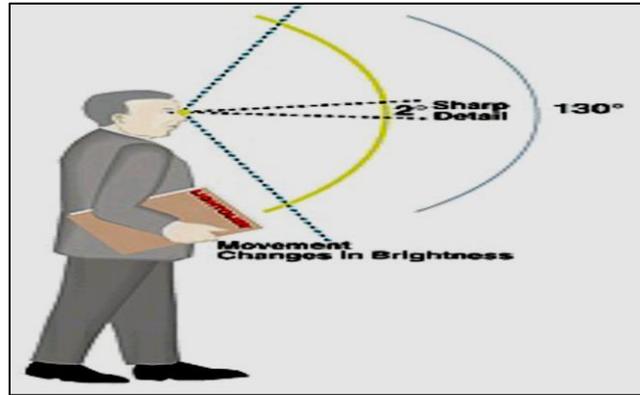
Es el área que ve el ojo. Normalmente se extiende 180 grados en el plano horizontal y 130° en el plano vertical.

Figura 40. **Campo visual 180°**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 3.

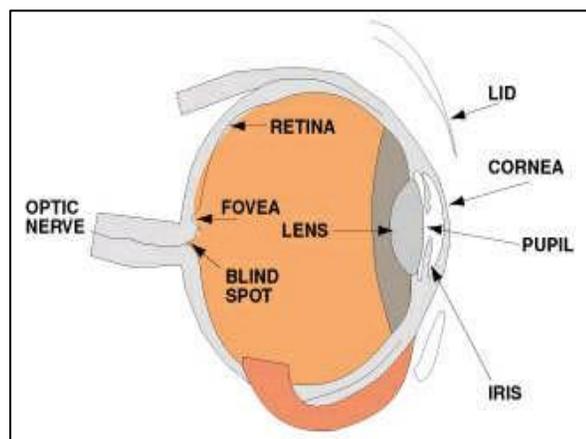
Figura 41. **Campo visual 130°**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 3.

Los detalles más finos se ven en un área pequeña en la parte posterior del ojo conocida como fovea. Los detalles se hacen gradualmente menos finos a medida que se aproximan al límite externo del campo visual, aunque el movimiento y los cambios en la luminosidad permanecen fácilmente discernibles incluso en la periferia.

Figura 42. **Partes del ojo**



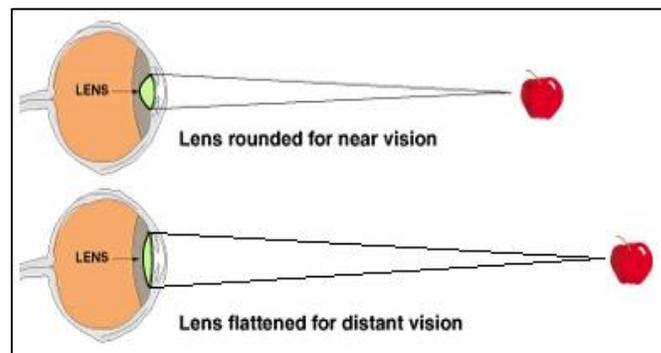
Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 4.

2.6.3. Ajuste

Es el proceso mediante el cual el ojo ubica y enfoca un objeto. Entre más cerca esté el objeto, más convexo será el cristalino del ojo.

Entre más lejano el objeto, más plano será el cristalino. Los lentes correctivos compensan la incapacidad de cambiar la forma lo suficiente para producir una visión clara.

Figura 43. **Ajuste visual**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 4.

2.6.4. Adaptación

Está relacionada con el tamaño de la apertura de la pupila y la sensibilidad de la retina. La pupila del ojo se dilata más, ante niveles bajos de luz y se reduce a medida que los niveles aumentan. Las sustancias fotoquímicas de la retina también experimentan un cambio. La adaptación de la luz a la oscuridad tarda más tiempo, como ocurre se ingresa a un cine durante el día, que de la oscuridad a la luz.

2.6.5. Alcance visual

El alcance de la experiencia visual abarca desde la luz de la luna (0.01 candelas-pie) hasta la luz solar de verano (10 000 candelas pie).

La mayor parte de los interiores comerciales están iluminados con 5 a 100 candelas-pie, dependiendo principalmente de las actividades que se realicen en el interior.

2.6.6. El ojo y la edad

Una visión veinte/veinte es lo que las personas de 20 años ven a una distancia de 20 pies (6 m). Los ojos sanos de una persona de 20 años se ajustan rápida y fácilmente a los cambios de brillo en el medio ambiente. A medida que se avanza en edad, los ojos pierden elasticidad y se reduce su capacidad de ajustarse fácilmente. La adaptación de un nivel de luz a otro dura más tiempo y el rango de sensibilidad disminuye drásticamente la capacidad para ver en niveles bajos de luz. Una persona de 60 años necesita diez veces más luz que una persona de 20 años con vista normal para realizar la misma actividad a la misma velocidad y con la misma precisión. Además, los ojos de mayor edad son afectados por el resplandor en un grado mucho mayor.

2.7. Factores de visibilidad

Los cuatro factores que juntos determinan la visibilidad son:

- Tamaño
- Contraste

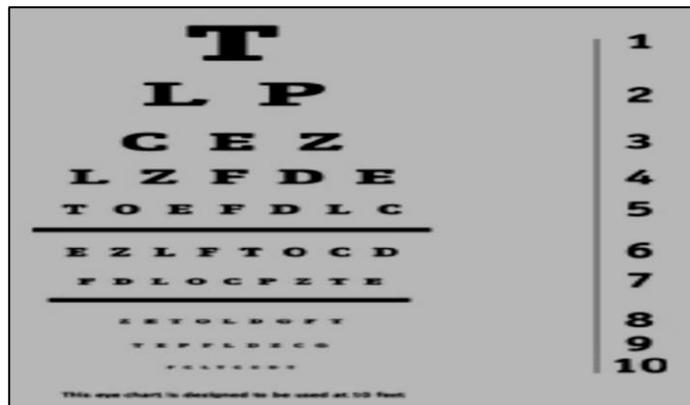
- Luminancia
- Tiempo

Están interrelacionados y la mejoría de uno puede desencadenar problemas en otro.

2.7.1. Tamaño

Entre más grande o cercano un objeto, más fácil es verlo.

Figura 44. Test de visibilidad visual



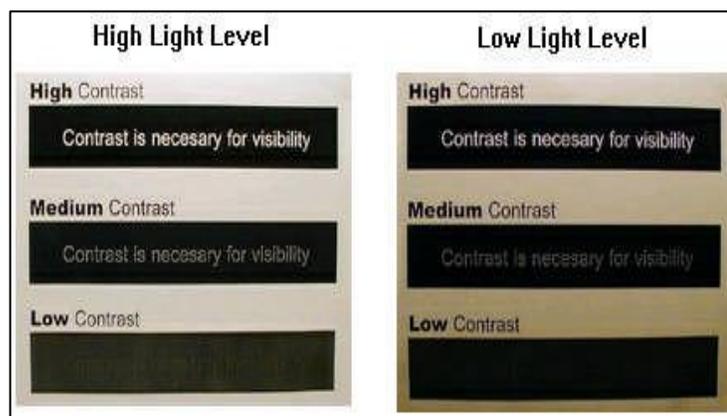
Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 6.

2.7.2. Contraste

La diferencia entre la luminancia de un objeto y la de su fondo se llama contraste. Las letras negras en papel blanco son fáciles de leer porque el contraste se aproxima al 100 %.

Sin embargo, las letras grises con una reflectancia de solo 40 % sobre papel gris de 80 % tendrán un contraste de 50 % y serán difíciles de ver. La visibilidad de un objeto de bajo contraste puede incrementarse cuando se agrega iluminación o color.

Figura 45. **Visibilidad de un objeto**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 6.

2.7.3. **Tiempo**

A menor visibilidad, más tiempo se necesita para ver los detalles. El tamaño pequeño, el bajo contraste y la baja iluminación aumentan el tiempo que se necesita.

El factor tiempo es especialmente importante cuando hay movimiento involucrado, por ejemplo al conducir. Con bajos niveles de luz, un objeto parece moverse más lentamente que con altos niveles de iluminación.

Figura 46. **Niveles de iluminación (tiempo)**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 7.

2.8. Calidad de iluminación

A continuación se describe brevemente el arte de iluminar y también la importancia de lograr una buena iluminación usando la creatividad en el entorno particular.

2.8.1. El arte y ciencia de la iluminación

El diseño en iluminación es más un arte que una ciencia. Aunque se deben de medir y cuantificar la cantidad y calidad de luz necesaria en los espacios, atarse por completo a los números es un error, ya que la luz es más una experiencia de los sentidos que una experiencia intelectual. La iluminación puede motivar a las personas a estar más activas, relajadas y productivas. Por otro lado también puede propiciar sentimientos de abatimiento y depresión.

El objetivo de la iluminación es hacer sentir a las personas importantes. Crear ambientes confortables en la oficina, en el restaurante, o en el hogar. Deberá proveer de visibilidad y crear armonía en el espacio donde es usada.

2.8.2. Efecto sobre la arquitectura

La luz es un material de construcción tanto como el acero o el concreto. Si bien dichos componentes estructurales se necesitan para delimitar un espacio, la luz no tiene existencia real hasta que se ve y se registra en la conciencia de una persona. La luz define espacios, revela texturas y colores, muestra formas, indica escalas y separa funciones. Una buena iluminación hace a un edificio verse bien y funcionar en la forma que el arquitecto pretende en todas las horas del día y de la noche. Contribuye al carácter, a la actitud deseada hacia la forma y el espacio, y al funcionamiento eficiente de ese espacio. La iluminación es dinámica. Cuando se cambia la iluminación, el mundo también cambia.

Figura 47. Iluminación dinámica



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 72.

2.8.3. Efecto de la luz en el diseño interior

La luz es invisible hasta que golpea sobre los objetos en el ambiente. El ángulo, la calidad y la intensidad con la que choca el objeto determinaran la forma en la que se percibe el espacio.

La relación vital entre luz y color puede mejorar o destruir por completo el trabajo más planeado de esquemas de color. A sabiendas que el efecto de la luz en la superficie, el diseñador puede elegir el sistema de iluminación apropiado conforme los requisitos del diseño. El diseñador de la iluminación deberá tomar en cuenta que la luz puede hacer o romper espacios por completo.

Figura 48. Iluminación de interiores



Fuente: Sylvania lightin. *Guía profesional 2008*. p. 73.

2.8.4. Planeando la luminosidad

La luminosidad establece el carácter y sentimiento de un espacio. Un techo en penumbras crea un ambiente íntimo y relajante. Por el contrario, altos

niveles de luz en el techo genera actividad, ideal para un ambiente laboral como oficinas, o donde se realizan tareas precisas como en la cocina. Una iluminación intensa sobre los muros llama la atención del espectador en las paredes y expande el campo visual. Esta técnica es ideal para las galerías, exhibidores, lobbies y corredores. Si lo que se quiere es guiar a la gente e indicar la dirección del recorrido, se deberá crear un patrón en los niveles de iluminación, variando la intensidad y jugando con la luz.

Figura 49. **Planificación de luminosidad**

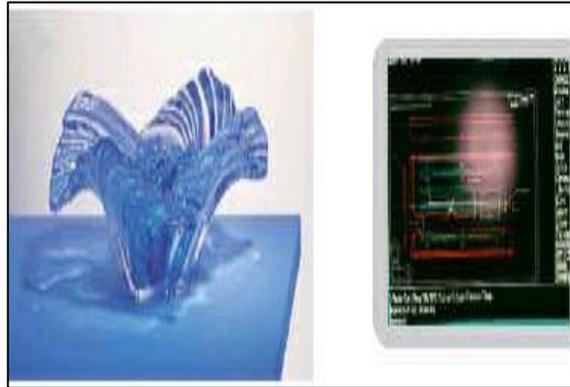


Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 73.

2.8.5. Deslumbramiento y brillo

Esos pequeños puntos de luz creados por filamentos o reflejos múltiples de un cristal, cromo o cualquier otra superficie brillante crean un efecto centellante que hace pensar en exclusividad o festividad. Cuando se usa un efecto centellante en un comedor, o una pista de baile, el destello puede aminorarse iluminando suavemente la parte del fondo. Hay una línea muy delgada entre los puntos estimulantes de luz y un destello inconfortable. A este destello inconfortable se le llama deslumbramiento.

Figura 50. **Deslumbramiento**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 74.

2.8.6. **Luz y sombra**

Un espacio uniformemente iluminado puede llegar a volverse aburrido y monótono. Las variaciones entre luminosidad y sombra generan una variedad visual estimulante. La luz de acento atrae la atención del espectador y comunica una idea. Bien planeada, la iluminación hace emocionante al espacio y los objetos que se encuentran en él.

Figura 51. **Luz y sombra**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 74.

2.8.7. Modelado

Las sombras son indispensables para que se pueda percibir un objeto en tres dimensiones. Cuando un objeto es iluminado desde diferentes direcciones este se llenará de carácter. Una escultura por ejemplo, iluminada desde diferentes puntos, colores e intensidades tendrá un aspecto vibrante y tridimensional.

Figura 52. **Modelado**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 74.

2.9. Iluminación ambiental y general

A continuación se presentan los principales conceptos para realizar una buena iluminación dependiendo del ambiente en donde se aplique y obtener los resultados esperados.

2.9.1. Diseño de la iluminación

Se tendrá un responsable de cómo se vean y perciba los espacios. Es vital que se entienda e interprete las necesidades finales, para crear un concepto de iluminación tangible.

La aportación principal del diseñador en iluminación es generar la visión creativa, resultado de años de experiencia y contacto estrecho con las nuevas tecnologías de iluminación.

El ingeniero en iluminación, por otro lado trabaja transformando el concepto del diseñador. El ingeniero es el que sabe cómo realizar el concepto. Los dos son necesarios para un proyecto de iluminación exitoso.

2.9.2. El proceso de diseño

El proceso de diseño con luz se enfoca en lo siguiente: ¿Qué iluminar? ¿Cómo iluminarlo? ¿Con qué iluminarlo?

- ¿Qué iluminar?

Esto puede abordarse mejor como una composición en capas: iluminación de actividades, iluminación de realce e iluminación de ambiente o espacio. Dicho de otro modo, la iluminación para el ambiente total.

Figura 53. **Formas de iluminación**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 76.

- ¿Cómo iluminarlo?

Una vez que se ha analizado el espacio se puede decidir la mejor forma de iluminarlo mediante tres técnicas básicas: iluminación de ambiente, iluminación de realce e iluminación de actividades.

Figura 54. **Técnicas de iluminación**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 76.

- ¿Cuánta luz?

La cantidad de luz requerida para una buena visibilidad depende de estos factores: edad, velocidad, precisión y la reflectancia de la actividad. Los ojos adultos requieren más luz. De hecho, a la edad de 55 años necesitamos el doble de luz para ver de la misma forma como se hacía a los 20 años. Además, los ojos adultos son más sensibles al resplandor y al brillo. Por lo tanto, la luz debe ser plena y estar bien protegida.

2.10. Determinación de iluminancia

La IESNA modificó recientemente sus criterios para determinar la iluminancia, refiriéndose que la luz no depende de la cantidad sino de la calidad de la misma. El procedimiento se enfoca ahora no solo en la cantidad de luz sino, igualmente importante, en la calidad.

Ahora se toman en consideración los siguientes aspectos de la calidad de la iluminación:

- Necesidades humanas
- Economía y medio ambiente
- Arquitectura

2.10.1. ¿Dónde colocar la luz?

Un elemento clave de cómo iluminar es dónde colocar la luz, especialmente importante para evitar el resplandor y las reflexiones que

deslumbran. También es un factor determinante para saber si la textura de una superficie debe ser enfatizada o atenuada.

Figura 55. **Colocación de luz**

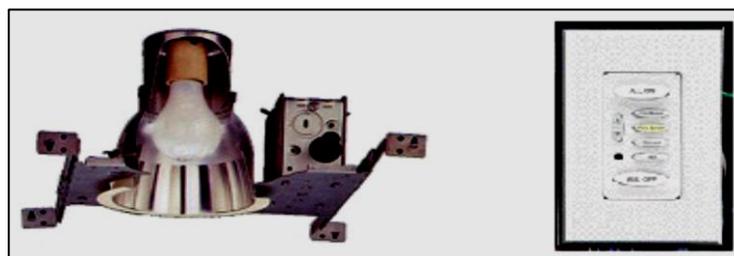


Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 77.

2.10.2. ¿Con qué iluminar?

Una vez se establece ¿qué iluminar? y ¿cómo iluminar?, se está listo para decidir ¿con qué iluminar? La selección de un sistema de iluminación se realiza en el siguiente orden: primeramente el foco, la luminaria, y por último la elección de los controles de iluminación. La elección del sistema de iluminación se logra mejor en el orden siguiente: lámpara, luminaria y controles.

Figura 56. **Sistemas de iluminación**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 78.

- Elección de la lámpara: existe una serie de fuentes de luz que ayudan a tomar una decisión. Antes de elegir, considere lo siguiente:
 - Distribución de la luz
 - Consumo de energía eléctrica
 - Conversión del color
 - Apariencia del color
 - Costos de mantenimiento

2.11. Iluminación de oficinas

Antes de diseñar la iluminación para los espacios de oficinas comerciales es necesario identificar las necesidades de los empleados.

Una vez que se conozca esto, se puede determinar la funcionalidad del espacio de manera que la distribución del inmobiliario pueda estar acorde con el ambiente de trabajo entero. Solo entonces se puede atender los requerimientos de iluminación para iluminar adecuadamente esos espacios.

Figura 57. **Iluminación de oficinas**



Fuente: VILA, Izabel. *Royal Philips Electronics*. p. 1.

2.11.1. Planeación del espacio

Hay cuatro métodos para planear la distribución de una oficina: tradicional, con base en la actividad, flexible y vecindario.

- Método 1: la planeación tradicional del espacio comúnmente atiende las necesidades de una organización vertical, asignando espacio con base en el papel de los empleados individuales y en su estatus dentro de la organización.

Figura 58. **Método 1**



Fuente: VILA, Izabel. *Royal Philips Electronics*. p. 1.

2.11.2. Objetivos de la iluminación

Es necesario proporcionar iluminación para las personas, por la actividad y el espacio. Anteriormente esto se lograba con lámparas fluorescentes que funcionaban con balastos magnéticas en luminarias empotradas 2 x 4.

En la actualidad se obtienen los mismos objetivos de iluminación en una forma más económica con lámparas fluorescentes de menor diámetro (T8 y T5) que funcionan con balastos electrónicos.

Además, las luminarias 2 x 4 y suspendidas actuales poseen mayor eficiencia óptica, y por lo tanto requieren menos lámparas y balastos que sus predecesoras.

Figura 59. **Luminarias empotradas 2 x 4**



Fuente: VILA, Izabel. *Royal Philips Electronics*. p. 2.

2.11.3. Relaciones de luminancia

Para comodidad visual y fácil adaptación, la luminancia de la actividad relativa al entorno debe tener equilibrio de la luminosidad. Las recomendaciones del IES son como sigue:

Entre una actividad con papel y una pantalla VDT adyacente: 3:1 o 1:3

Figura 60. **Comodidad visual**



Fuente: VILA, Izabel. *Royal Philips Electronics*. p. 2.

2.11.4. Análisis de energía

La figura, véase figura 60, anterior se basa en un área de 10 000 pies cuadrados iluminada a 50 candiles pies constantes. El costo de energía anual se calcula en 0,10 centavos de dólar por kilovatio/hora con el sistema de iluminación funcionando a 4 000 horas/año. Los sistemas T5 de dos lámparas dan los mejores resultados en esta comparación.

Además de la iluminación de ambiente se puede requerir una fuente suplementaria de iluminación para alumbrar una actividad.

Figura 61. **Iluminación de ambiente**



Fuente: VILA, Izabel. *Royal Philips Electronics*. p. 3.

El uso de lámparas fluorescentes en luminarias de bajo perfil o en brazos articulados se puede proporcionar la cantidad y calidad necesaria de luz según las recomendaciones de la (IESNA) para iluminación de actividades.

Iluminación de realce además de la iluminación de ambiente, se puede requerir una fuente suplementaria de iluminación para iluminar una actividad. La iluminación de realce puede proporcionar líneas visuales. Ya sea que se obtenga mediante luminarias descendentes o iluminación de riel, brinda un trayecto o significa una transición de un espacio a otro.

La iluminación de realce, puede ser una forma impresionante de iluminar fotografías, trofeos, placas, cerámica o cualquier objeto colocado en el ambiente de oficina para realzar la decoración interior para mayor interés visual.

Figura 62. **Iluminación de realce**



Fuente: VILA, Izabel. *Royal Philips Electronics*. p. 4.

2.11.5. Iluminación perimetral

Al iluminar las superficies verticales se puede enfatizar la arquitectura del espacio, mientras que se proporciona la luminosidad circundante necesaria para hacer el ambiente visualmente agradable.

Hay dos técnicas para proporcionar iluminación perimetral: bañado de pared y luz rasante.

- Bañado de pared: esta técnica es apropiada para superficies lisas. Las luminarias llamadas bañaderas proporcionan un rociado uniforme con luz desde el piso hasta el techo.

Figura 63. **Baño de pared**



Fuente: VILA, Izabel. *Royal Philips Electronics*. p. 4.

2.11.6. Controles de iluminación

En el centro neurálgico del sistema de iluminación están los controles, los cuales manejan el nivel de luminosidad en cada espacio y proporcionan flexibilidad en aquellos espacios usados para diversas funciones.

Los controles son la única parte del sistema de iluminación que el usuario toca, por lo cual deben ser fácilmente ajustables. Los controles de iluminación pueden ayudar a manejar y limitar el consumo de energía en un espacio, al mismo tiempo que proporcionan al usuario individual niveles de luz flexibles en espacios de uso múltiple.

Figura 64. **Niveles de luz**



Fuente: VILA, Izabel. *Royal Philips Electronics*. p. 5.

2.11.7. Reglamentaciones de energía para edificios comerciales

- Atenuación programada: existen normas de eficiencia de la iluminación para establecer niveles máximos de energía para un edificio.

El objetivo general es minimizar el consumo de energía a través de un sistema sin menoscabo de la calidad del diseño de la iluminación.

Se pueden localizar dos enfoques: las reglamentaciones para equipos que establecen la eficiencia mínima para componentes específicos, y las normas de aplicación que limitan la energía disponible para iluminación. Ambos enfoques se refieren a la energía de iluminación y se han promulgado en códigos de construcción de los gobiernos federal, estatal y local en Norteamérica.

2.12. Sistemas de iluminación

Hace más que revelar los alrededores para que se pueda preparar el área de trabajo para que pueda ser eficiente y segura.

Hoy en día la iluminación también es entendida como una forma de crear atmósferas agradables y como un medio para proporcionar confort en donde se trabaja y se vive. La iluminación acentúa las características funcionales y decorativas de un espacio así como sus proporciones. No existe solo para mejorar la percepción visual, sino también para influenciar en las emociones: ambientes cálidos o fríos, dinámicos o tranquilos, felices o solemnes. Esta es la tarea del diseñador de iluminación, quien logra sus objetivos creando a través del diseño de iluminación espacios confortables o estimulantes.

- Iluminación general: proporciona un nivel uniforme sobre una superficie grande. En algunos sitios, como por ejemplo armarios, cuartos de almacenamiento y garajes, una luminaria o un grupo de ellas pueden proporcionar toda la iluminación necesaria.

Este tipo de áreas interiores tienden a estar donde el estilo y la apariencia del cuarto son secundarios a los objetos que están siendo iluminados y en el cual el costo es un factor decisivo. El requerimiento para una buena distribución de la iluminación general es primordialmente tener una iluminación horizontal sin sombras.

- Iluminación arquitectónica: se caracteriza porque pretende acentuar las características y elementos específicos de un espacio en general, como sus paredes, techos, pisos, en vez de los objetos presentes. Las luminarias para este tipo de iluminación usualmente producen modestas

cantidades de luz y normalmente son escogidas por su apariencia y diseño, y son apoyadas por luminarias complementarias que proporcionan una iluminación general o de tareas.

Figura 65. **Iluminación arquitectónica**



Fuente: Philips lighting. *Principios básicos de iluminación*. p. 18.

- Iluminación de tareas: ilumina áreas específicas de trabajo como escritorios y mostradores. Es independiente de la iluminación general, proporcionando una iluminación de mejor calidad para tareas específicas focalizada directamente en el área de trabajo. La mayoría de las luces para tareas son direccionales y locales.
- Iluminación de acentuación: es utilizada para resaltar características específicas dentro de un espacio tales como las obras de arte en museos u ofertas especiales en una exhibición comercial. Este tipo de iluminación no debe crear altos niveles de resplandor y brillo.

- Iluminación de ambientes: es utilizada para darle carácter a espacios de trabajo o residenciales. Generalmente se caracteriza por la combinación de la iluminación general, arquitectónica, de tareas y de acentuación para así crear atmósferas específicas dentro de un espacio.

2.12.1. Sistema de iluminación fluorescente

Es una familia de luminarias tipo modular que se conectan eléctrica y mecánicamente para formar filas y patrones de varias formas con el fin de proporcionar iluminación en todo un espacio.

El término se refiere principalmente a los sistemas de luminarias suspendidas, aunque hay algunos sistemas de luminarias empotradas.

Figura 66. **Luminaria suspendida**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 54.

Como se indica anteriormente, la diferencia entre las luminarias fluorescentes y los sistemas de iluminación fluorescente es en gran medida cuestión de grado. Lo que distingue a los sistemas fluorescentes es que se

instalan en filas y patrones continuos y están suspendidos en lugar de empotrados o instalados sobre la superficie. Con frecuencia el diseño permite resolver intersecciones en forma de L, T y X y anguladas. Los sistemas fluorescentes son un nuevo concepto.

Figura 67. **Sistemas fluorescentes**



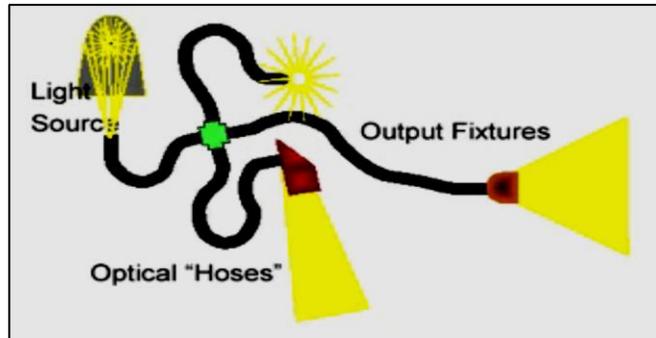
Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 55.

2.12.2. Sistema de iluminación de fibra óptica

Un sistema de iluminación de fibra óptica es un sistema en el que una fuente remota distribuye la luz a áreas y objetos por medio de uno o más haces de fibra óptica, similar a la forma como el agua es conducida de una llave a una boquilla a través de una manguera.

La luz que ingresa en un extremo de las fibras se transmite a otras a través del proceso de reflexión interna total.

Figura 68. Iluminación de fibra óptica



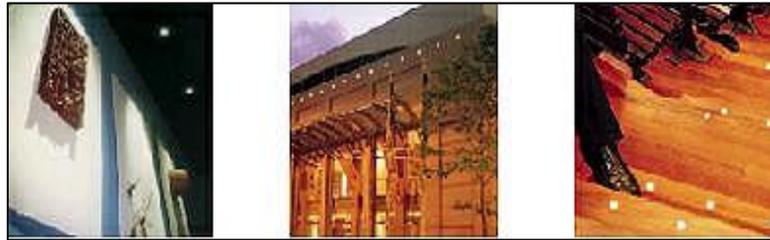
Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 66.

- Beneficios: el principal beneficio de la iluminación de fibra óptica deriva del hecho de que la fuente de luz y la potencia luminosa están separadas. Esto tiene las siguientes ventajas:
 - Menor costo de mantenimiento
 - No hay calor, rayos ultravioleta ni electricidad en el dispositivo
 - Menor escala y peso del dispositivo
 - Capacidad de proporcionar cambio de color o efectos de iluminación dinámica
 - Flexibilidad del diseño
 - Menor consumo de energía en relación a la iluminación decorativa incandescente

- Aplicaciones: los sistemas de fibra óptica se usan para:
 - Iluminación de realce
 - Iluminación de exhibición
 - Iluminación de actividades
 - Efectos decorativos

- Iluminación descendente
- Iluminación de jardinería

Figura 69. **Aplicaciones de fibra óptica**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 66.

- Un sistema de fibra óptica consiste en: un controlador o iluminador que contiene una fuente de luz, un balastro o transformador, filtros ultravioleta e infrarrojos, rueda de color y controles, y los componentes ópticos para recoger y colimar la luz hacer los rayos de luz paralelos. La mayoría de estos controladores de luz o iluminadores tienen un ventilador de enfriamiento integrado. Un casquillo o arnés principal que une haces de fibra y los coloca dentro del iluminador.

Una fibra o manguera que conduce la luz de tipo emisión terminal o emisión lateral. La fibra puede ser cristal, plástico de núcleo grande o plástico trenzado.

El casquillo (o casquillos) del extremo, en el cual se fijan los accesorios de luz que enfocan, difunden o dan forma a la salida de luz, o proporcionan un efecto decorativo. El accesorio para la luz generalmente contiene un medio de fijarse a los techos, pisos, pavimentos o paredes.

- Desempeño: el desempeño del sistema de iluminación de fibra óptica depende de:
 - La fuente de luz y el equipo óptico
 - La terminación de la fibra en donde esta se une con el iluminador.
 - La eficiencia de la fibra
 - La longitud de la fibra desde el controlador de luz hasta el accesorio para la luz
 - La distribución y la eficiencia de los accesorios de la luz

2.12.3. Sistema de iluminación atenuado

La iluminación eléctrica es estática, hasta que se agregan controles de iluminación arquitectónica. Al atenuar o reducir el voltaje de varias fuentes dentro de un espacio, se crea elegancia, drama, efecto y una sensación de indudable confort. Se puede:

- Componer la iluminación en un espacio para crear una atmósfera.
- Afinar el nivel de luz para una actividad específica.
- Prolongar la vida útil de las lámparas incandescentes y reducir el costo de consumo de energía.

Los controles de iluminación pueden dividirse en tres aplicaciones básicas.

- Atenuar una luz o un grupo de luces juntas
- Atenuar una habitación de luces para crear escenas
- Controlar un grupo de habitaciones

Figura 70. **Controles de iluminación**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 68.

- Canales o áreas: crear por lo menos un canal o área para cada efecto de iluminación básico.
 - Ambiente
 - Actividad
 - Perímetro
 - Realce
 - Decorativo
 - Grupo de dispositivos del mismo tipo

Figura 71. **Iluminación básica**



Fuente: Sylvania lighting. *Guía profesional 2008*. p. 68.

Además, cada fuente de luz visible debe tener su propio canal para que agrupe las fuentes similares por ejemplo, MR16 con un atenuador, y lámparas "A" con otro separado. Esto sirve para equilibrar por separado la intensidad de las fuentes que son más resplandecientes para la vista.

- ¿Qué hacen los atenuadores? Los atenuadores reducen la cantidad de voltaje que llega a la lámpara. Los atenuadores de estado sólido llamados tiristores o rectificadores controlados por silicio (SCR) son esencialmente interruptores muy rápidos. Interruptor apagado (*off*) = No hay corriente hacia la lámpara. Interruptor encendido (*on*) = Corriente completa hacia la lámpara.

La proporción *on/off* causa la atenuación porque una menor cantidad del voltaje total va hacia la lámpara. Esta conmutación ocurre 120 veces por segundo, de manera que el filamento en la lámpara aparece iluminado constantemente aunque no sea tan brillante.

- Filtración: cuando se enciende la lámpara (60 veces por segundo) ocurre un corriente de entrada. La corriente de entrada causa interferencia de radiofrecuencia (IRF) e interferencia electromagnética (IEM). La IEM se conduce a través del sistema de cableado. Esto afecta al filamento de la lámpara y al transformador de las lámparas de bajo voltaje.

Además, cuando una lámpara incandescente se enciende 60 veces por segundo, esto puede causar vibración del filamento. Esta vibración puede producir un zumbido audible. La solución es usar un filtro u obturador. Los tipos de filtro son de bobina de barra y toroidales; los primeros se encuentran comúnmente integrados en los atenuadores estándares, y los atenuadores de mayor calidad tienen filtros toroidales.

3. PROPUESTA DE ILUMINACIÓN

3.1. La iluminación y el medio ambiente

Desde hace muchos años esfuerzos en el proceso de innovación de los productos de iluminación se enfocan en hacer que estos sean amigables con el medio ambiente.

La introducción de las lámparas ahorradoras de energía en 1980 es un claro ejemplo de la evolución de la concientización hacia una iluminación ambientalmente amigable.

Las lámparas ahorradoras fueron la primera alternativa práctica a nivel mundial para sustituir las lámparas incandescentes normales. Encajan en las luminarias existentes e iluminan de forma similar a las lámparas incandescentes utilizando tan solo un cuarto de la energía consumida y con una duración de entre 6 y 10 veces mayor. Aunque su costo inicial sea superior al de una lámpara incandescente, los costos relacionados (reposición y consumo de energía) son significativamente menores, ayudando a recuperar la inversión en el corto plazo.

La miniaturización de estos sistemas de iluminación se ha convertido en una tendencia mundial. Al reducir el volumen de los materiales y los componentes utilizados, la industria de la iluminación reconoce que el consumo de materias primas y de energía puede ser reducido en sus fábricas. Las nuevas tecnologías de fósforo, introducidas en 1995, ayudaron a reducir en gran parte la disminución del flujo luminoso a lo largo de la vida útil,

extendiendo la vida de las lámparas fluorescentes y por lo tanto reduciendo la frecuencia de reposición de las mismas.

Uno de los avances más significativos en la tendencia hacia la miniaturización fue desarrollado en 1995 con la línea de producción de la lámpara fluorescente TL5, introducidos para reemplazar los tubos tradicionales de 26 y 38 mm de diámetro.

Estas lámparas de 16mm de diámetro no solo incrementan la eficiencia de la luminaria sino que también reducen el consumo de vidrio en por lo menos un 60 %. En paralelo con la miniaturización e inspirado por el crecimiento en la conciencia del medio ambiente de nuestra sociedad, otra meta que ha sido definida y obtenida es la reducción del uso de sustancias peligrosas tanto en el proceso de producción como en el producto final. El plomo en la soldadura y en el vidrio y el mercurio juegan un papel importante en la tecnología de las lámparas.

Al reducir el contenido de mercurio en menos de 3 mg por lámpara se dio un gran paso adelante. El mercurio no es solo utilizado en lámparas fluorescentes, sino también en la mayoría de las lámparas de alta intensidad de descarga. Hoy día, Philips dispone de la única lámpara de Sodio de alta intensidad de descarga 100 % libre de mercurio, para alumbrado público. Otro gran paso, desde que el plomo utilizado en los sistemas de soldar fue eliminado.

Los avances alcanzados en la tecnología led, abren nuevos horizontes para la industria de la iluminación. Los led, o sistemas de iluminación en estado sólido, tienen el potencial de entregar una nueva fuente de luz más compacta, de luz blanca de alta calidad, con un bajísimo consumo energético, libre de

rayos ultravioleta y de radiaciones infrarrojas es decir calor y una vida útil de hasta 100 000 horas.

Las lámparas fluorescentes ahorradoras de energía en la actualidad, tienen el mismo tamaño y calidad de luz que las lámparas incandescentes convencionales, consumiendo solo una fracción de energía requerida.

3.1.1. Más desarrollos

Además de la evolución en la fabricación de lámparas orientadas hacia la reducción del consumo de energía tienen mayor vida útil, incremento de su eficacia y del confort de la luz, las luminarias también han evolucionado de una manera espectacular.

Los nuevos equipos electrónicos de alta frecuencia y sistemas de control proporcionan un ahorro de energía de por lo menos un 25 % en comparación con los sistemas electromagnéticos tradicionales.

Diseñados para operar sin problemas en un gran rango de lámparas fluorescentes, como tubos, compactas no integradas y lámparas de alta intensidad de descarga, cada balastro tiene su campo de aplicación. La introducción de las luminarias para oficinas con tubos fluorescentes TL5 y ópticas OLC, son un gran avance para conseguir que cada lumen emitido sea aprovechado al máximo.

Sin embargo, lámparas más eficaces y luminarias más eficientes no son suficientes. Necesitan ser parte de un enfoque mundial hacia la conservación de los recursos naturales. Los sistemas de control en iluminación permiten

hacer posible un ahorro masivo de energía, algunas veces hasta de un 50 %, mientras que los sistemas de mando a distancia logran un manejo eficiente de la energía en las edificaciones, conectando la iluminación con todas las otras instalaciones. Además, con los últimos desarrollos en sistemas de control a distancia, pronto se podrá manejar y controlar la iluminación de una ciudad completa, desde una simple luminaria de alumbrado público hasta su sistema de señalización vial.

3.2. Equipo electrónico de alta frecuencia

Los balastos y equipos eléctricos proporcionan un ahorro de energía entre un 25 % y un 50 %, comparado con los sistemas electromagnéticos tradicionales.

3.2.1. Equipos eléctricos

A diferencia de las lámparas incandescentes, las lámparas de alta y de baja intensidad de descarga; los led no pueden ser conectados directamente a la corriente.

Para funcionar requieren de un equipo eléctrico llamado balastro, los cuales están disponibles en varios tipos y múltiples funciones.

En el proceso de descarga de una lámpara (fluorescente o HID), cada electrón de la corriente eléctrica libera varios electrones nuevos ubicados en el gas con el que el tubo de descarga de la lámpara fue llenado. Si la generación de electrones no es regulada, ocurriría una avalancha creciente de electrones nuevos, creando así una gran corriente eléctrica la cual consumiría casi

inmediatamente la vida útil de la lámpara. La función del equipo eléctrico en estos casos es limitar la corriente eléctrica. Este tipo de equipo es conocido como balastro. Usando una lámpara de alta intensidad de descarga se enciende, la resistencia eléctrica del gas entre los electrodos usualmente es muy fuerte como para liberar una cantidad de electrones suficientes que permitan iniciar el proceso de descarga del gas.

La función del equipo eléctrico en estos casos es la de crear de manera temporal un voltaje eléctrico mayor entre los electrodos para que la liberación de nuevos electrones y así el proceso de descarga del gas sea capaz de encender la lámpara.

Este tipo de equipo es conocido como arrancador. Para regular el flujo luminoso de una lámpara es necesario controlar la corriente eléctrica con la que esta ópera. La regulación de la corriente eléctrica se logra a través de un balastro controlable que junto a un potenciómetro o dimerizador, puedan llevar a cabo esta opción.

3.3. Armónicos

Uno de los problemas más comunes que afectan a la calidad de la energía en sistemas eléctricos de baja tensión es la deformación de la onda.

Esta es producida en gran medida por un fenómeno llamado distorsión armónica, problema que afecta tanto la estabilidad a las redes eléctricas de distribución como a los consumidores finales. A continuación se proporcionará una explicación sencilla pero lo suficientemente clara para tener una idea acerca de la naturaleza de los armónicos de corriente y voltaje, los factores que la originan, sus efectos nocivos en las redes eléctricas y sobre el normal

funcionamiento de los equipos o las cargas que se alimentan de ella, así como los límites de perturbación permitidos.

3.3.1. Conceptos generales

El sistema eléctrico nacional integra actualmente una gran cantidad de elementos llamados no lineales, estos generan a partir de la forma de onda sinusoidal a la frecuencia de la red, otras ondas de diferentes frecuencias provocando un fenómeno conocido como generación de armónicos.

Los armónicos son un fenómeno que causa problemas tanto para los usuarios como para la empresa encargada de suministro del servicio de energía eléctrica ocasionando diversos efectos nocivos en los equipos de la red.

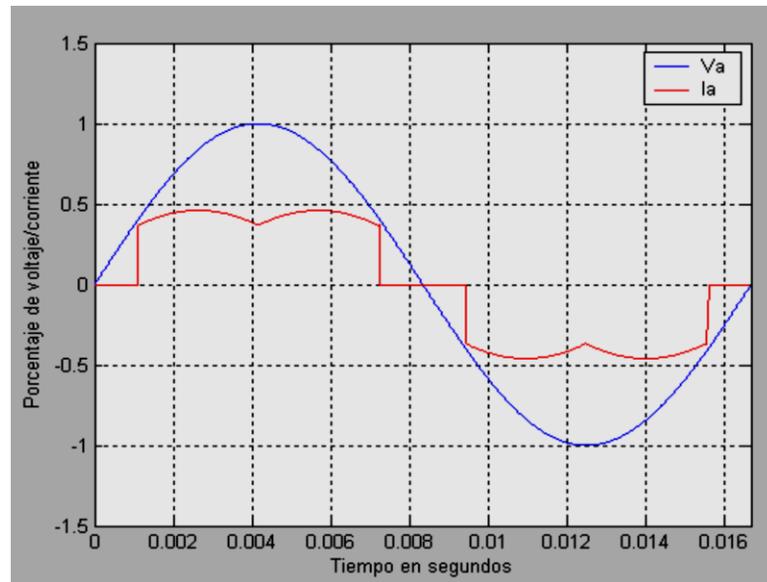
3.3.2. Definición de armónicos

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales que poseen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar.

Las formas de onda distorsionadas pueden ser descompuestas en una suma de la señal de frecuencia fundamental y las armónicas.

La distorsión armónica se origina debido a las características no lineales de los equipos y cargas de un sistema de potencia.

Figura 72. **Distorsión armónica**



Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica UPLGC.

En la figura 72 se ilustra la forma de tensión y corriente medidas en un sistema industrial con una distorsión típica por cargas no lineales.

3.4. **Parámetros eléctricos importantes**

En la electricidad se pueden mencionar parámetros básicos como el voltaje, corriente y potencia a continuación se describirán más parámetros para comprender el efecto de los armónicos en los sistemas eléctricos.

3.4.1. Factor de potencia

Se define como la relación entre la potencia activa P y la potencia aparente S.

$$FP = \frac{P}{S}$$

En el área eléctrica, el factor de potencia es frecuentemente confundido con el Coseno phi ($\cos \varphi$), cuya definición es:

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P1}{S1}$$

P1 = potencia activa del fundamental.

S1 = potencia aparente del fundamental.

Por tanto, el “ $\cos \varphi$ ” se refiere únicamente a la frecuencia fundamental, y, en presencia de armónicos, es diferente del factor de potencia PF.

3.4.2. Interpretación del valor del factor de potencia

Una primera indicación de la presencia significativa de armónicos es cuando el factor de potencia medido es diferente del $\cos \varphi$ y el factor de potencia será inferior a $\cos \varphi$.

3.4.3. Factor de cresta

Se define como la relación entre el valor de cresta de corriente o de tensión (I_m o V_m) y el valor eficaz.

$$K = \frac{I_m}{I_{rms}} \quad \text{O} \quad K = \frac{V_m}{V_{rms}}$$

Para una señal sinusoidal el factor de cresta es igual a $\sqrt{2}$, para una señal no sinusoidal el factor de cresta puede tener un valor superior o inferior a $\sqrt{2}$. Este factor es particularmente útil para detectar la presencia de valores de cresta excepcionales con respecto al valor eficaz.

3.4.4. Interpretación del valor de factor de cresta

El factor de cresta típico de corrientes absorbidas por cargas no lineales es mucho mayor que $\sqrt{2}$, puede tomar valores iguales a 1,5 o 2, llegando incluso a 5 en casos críticos.

Un factor de cresta muy elevado implica sobre intensidades puntuales importantes.

Estas sobre intensidades, detectadas por los dispositivos de protección, pueden ser el origen de desconexiones indeseadas.

3.4.5. Potencia activa

La potencia activa P de una señal distorsionada por armónicos es la suma de las potencias activas correspondientes a las tensiones e intensidades del mismo orden.

La descomposición de la tensión y la intensidad en sus componentes armónicas puede ser escrita como:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos \varphi_h$$

Siendo el desfase entre la tensión y la intensidad del armónico de orden h . Se supone que la señal no contiene componente continua. En ausencia de armónicos, la ecuación indica $P = V_1 I_1 \cos \varphi_1$ la potencia de una señal sinusoidal, donde $\cos \varphi_1$ es igual a "cos φ ".

3.4.6. Potencia reactiva

Se define únicamente para la fundamental y viene dada por la ecuación:

$$Q = V_1 I_1 \sin \varphi_1$$

3.4.7. Potencia de distorsión

Se considera la potencia aparente S :

$$P_{rms} = V_{rms} * I_{rms}$$

En presencia de armónicos se puede reescribir la ecuación como:

$$S = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos\phi_h$$

Como consecuencia, en presencia de armónicos, la relación

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

No es válida. Se define la potencia de distorsión D de tal forma que:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

Así pues:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

3.4.8. Tasas de distorsión armónica

Antes de analizar la manera en la que se evalúa la distorsión armónica en redes eléctricas se indica la representación matemática de una señal eléctrica en el dominio del tiempo.

En este caso se tomará como armónica a la frecuencia múltiplo de una frecuencia fundamental que opera en la red de distribución eléctrica (para este caso 60 Hz).

Si el voltaje y la corriente en una red eléctrica están definidos por:

$$V(t) = V \cdot \cos \omega t \quad i(t) = I \cdot \cos \omega t$$

Respectivamente, pero como en los sistemas eléctricos en estas señales podría darse la presencia de voltajes y corrientes armónicas, entonces el voltaje y la corriente se pueden representar por:

$$V(t) = V_1 \cdot \cos(\omega t + \theta_1) + V_2 \cdot \cos(2 \cdot \omega t + \theta_2) + V_3 \cdot \cos(3 \cdot \omega t + \theta_3) + \dots$$

$$I(t) = I_1 \cdot \cos(\omega t + \theta_1) + I_2 \cdot \cos(2 \cdot \omega t + \theta_2) + I_3 \cdot \cos(3 \cdot \omega t + \theta_3) + \dots$$

Que en forma compacta se podrían escribir como:

$$V(t) = \sum_{n=1}^k V_n \cdot \cos(n\omega t + \theta_n)$$

$$I(t) = \sum_{n=1}^k I_n \cdot \cos(\omega t + \theta_n)$$

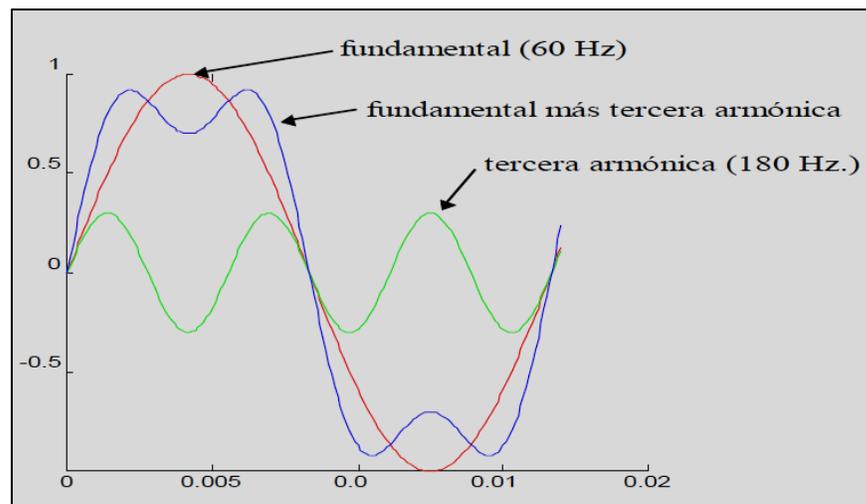
Donde a:

V_n se le define como la armónica de voltaje de orden n , a

I_n se le define como la armónica de corriente de orden n y a

θ_n Como el ángulo de la armónica n

Figura 73. Valores de Distorsión



Fuente: VELÁSQUEZ, Carlos. *Philips lighting consultant*. p. 17.

Los valores de distorsión están definidos en porcentaje (%) de cantidades eléctricas. Estos valores son muy utilizados para conocer el grado de contaminación de las redes eléctricas.

3.4.9. Distorsión armónica total

THD corresponde a Distorsión Total Armónica (tasa de distorsión armónica global). Es frecuentemente utilizada para definir la importancia del contenido armónico de una señal alternativa.

Para una señal $y(t)$, la tasa de distorsión armónica está definida por la ecuación:

$$THD = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}{y_1} * 100\%$$

Cuando se trata con armónicos de tensión, la expresión se convierte en:

$$THDV = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} * 100 \%$$

Cuando se trata con armónicos de intensidad, la expresión se convierte en:

$$THDI = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} * 100 \%$$

Esta ecuación es equivalente a la mostrada a continuación, la cual es más directa y fácil de utilizar cuando se conoce el valor eficaz total:

$$THDI = \sqrt{\left(\frac{I_{RMS}}{I_1}\right)^2 - 1} * 100\%$$

Para armónicos individuales.

$$\text{IHD}_n = \frac{V_n}{V_1} * 100 \%$$

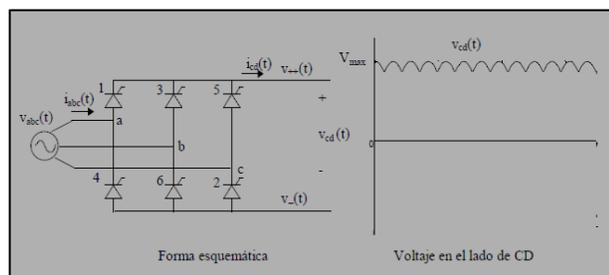
3.5. Fuentes armónicas

A continuación se describirán algunas de las fuentes más comunes de armónicos y que generalmente se utilizan se forma natural en las viviendas y en la industria en general.

3.5.1. Convertidores

Son dispositivos que inyectan armónicas al sistema de corriente alterna debido a la operación de los elementos de switcheo (tiristores). Un rectificador común es el que se muestra en la figura 89.

Figura 74. Rectificador



Fuente: VELÁSQUEZ, Carlos. *Philips lighting consultant*. p 17.

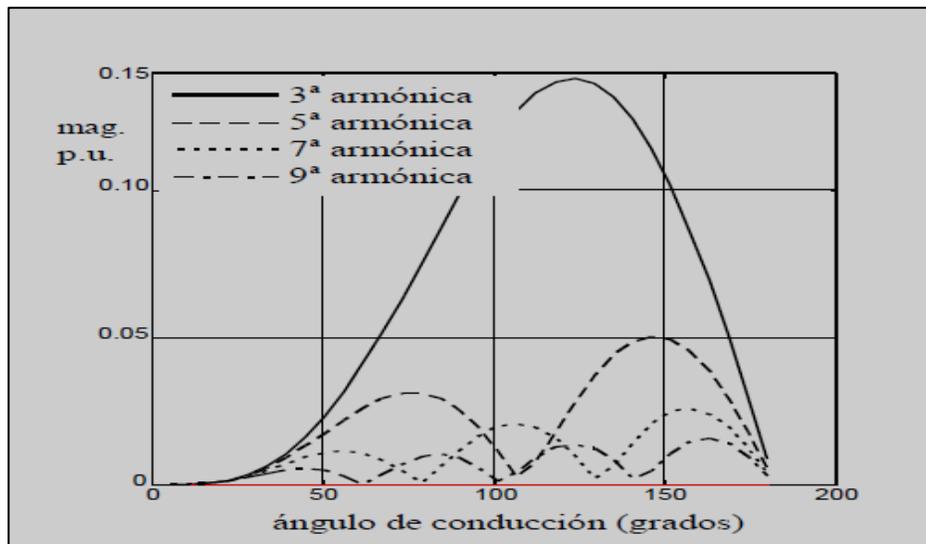
3.5.2. Hornos de inducción

Son utilizados en la industria de manufactura. Estos hornos tienen un rectificador e inversor, el cual controla la frecuencia de alimentación de una bobina. De esta manera la bobina mediante inducción hace que se calienten las piezas metálicas (como si fueran el núcleo de la bobina) las cuales alcanzan temperaturas muy altas y después pasan a ser moldeadas.

3.5.3. Compensadores estáticos de potencia

Estos utilizan tiristores para el control de la potencia reactiva. Los cuales son utilizados para el control de potencia reactiva y así mismo para el control de voltaje en redes de transmisión principalmente.

Figura 75. Ángulo de Conducción



Fuente: VELÁSQUEZ, Carlos. *Philips lighting consultant*. p 18.

Como se puede observar en la figura 90, el TCR1 inyecta diferentes armónicas dependiendo del ángulo de disparo, algunas armónicas (múltiplos de tres) se pueden eliminar si se tiene un TCR trifásico conectado en triángulo.

3.5.4. Hornos del arco eléctrico

Estos hornos son utilizados para la fundición del acero, por lo general utilizan electrodos los cuales al hacer contacto con el acero se crea un arco eléctrico de tal magnitud que funde el acero. Por este motivo, los hornos de arco eléctrico son cargas que no se encuentran en estado estable.

3.5.5. Saturación de transformadores

Provoca la generación de armónicas, pues se trata de un elemento no lineal. Las armónicas generadas por la saturación son las armónicas impares, principalmente la tercera.

La generación de estas armónicas se presenta en estado estable para cuando el transformador está sobrecargado, provocando que el transformador opere en su región no lineal.

Otra de las formas más comunes de la generación de armónicas en el transformador es en el momento de su energización. Durante este fenómeno transitorio de la energización, el transformador presenta gran cantidad de armónicas pares e impares y puede llegar a durar hasta algunos minutos.

3.5.6. Lámparas fluorescentes

El uso en gran escala de lámparas fluorescentes como un medio para reducir el consumo de energía, se ha visto recientemente incrementada en muchos lugares del mundo. La utilización de nuevas tecnologías que abarcan diseños de lámparas fluorescentes, lámparas led y lámparas de vapor de metal, constituyen sistemas más eficientes de iluminación.

Sin embargo es importante analizar el lado negativo del uso masivo de lámparas fluorescentes y led debido a la generación de armónicas. Las lámparas incandescentes por ser lineales, producen la circulación de corriente fundamental al ser alimentadas por una fuente de voltaje senoidal de la misma frecuencia. En cambio las lámparas fluorescentes son cargas no lineales por naturaleza, por lo tanto al aplicarles un voltaje senoidal, se produce una circulación de corrientes no sinusoidales a través de ellas.

Ya que las lámparas fluorescentes de alta eficacia se conectan a la red de distribución, las corrientes armónicas que se generan pueden fluir a través de los conductores hacia los transformadores en el sistema de distribución.

3.5.7. Equipo de cómputo

El equipo de cómputo, y en general el equipo de oficina funcionan en base a una fuente de alimentación la cual es un puente rectificador el mismo que posee la característica natural de generar frecuencias armónicas.

3.5.8. Equipo doméstico

La gran mayoría de electrodomésticos en la actualidad utilizan para su funcionamiento una gran cantidad de dispositivos electrónicos los cuales por su característica de consumo son considerados cargas no lineales, por tanto son fuentes de frecuencias armónicas.

3.5.9. Nuevas fuentes armónicas

En la actualidad, otra de las principales fuentes de distorsión armónica son los inversores y rectificadores con control de ángulo de fase, estas también son conocidos en la industria como variadores de velocidad.

3.5.10. Futuras fuentes armónicas

A largo plazo, se prevé un aumento importante en el contenido de armónicas en redes eléctricas, debido al uso en gran escala de autos eléctricos que requerirán recargar sus baterías en grandes bancos de rectificación y por supuesto el incremento del desarrollo de la tecnología lumínica para este caso luminarias led y luminarias con balastros electrónicos.

Otras posibles fuentes de armónicas son aquellas que requerirán la conversión de grandes volúmenes de energía, posiblemente producidas por fuentes no convencionales (eólica, solar, u otros).

El uso de ciclo convertidores para la operación de máquinas de baja velocidad y alto par, el uso de dispositivos de conversión directa de energía como baterías de almacenamiento y celdas de combustible

3.6. Efectos de la distorsión armónica

A continuación se presenta una breve descripción de los factores de distorsión armónica que se deben analizar si se presenta este fenómeno en una red eléctrica.

3.6.1. Resonancia

La utilización de dispositivos tanto capacitivos como inductivos en sistemas de distribución que estén contaminados de distorsión armónica provoca el fenómeno de la resonancia, teniendo como resultado valores extremadamente altos o bajos de impedancia. Estas variaciones en la impedancia modifican la corriente y la tensión en el sistema de distribución.

3.6.2. Aumento de las pérdidas

La distorsión armónica provoca pérdidas en la operación de las cargas eléctricas que son significativas para la economía de red afectada estas se describen a continuación.

3.6.3. Pérdidas en los conductores

La potencia activa transmitida a una carga depende de la corriente fundamental. Cuando la corriente absorbida por la carga contiene armónicos, el valor eficaz de la corriente, es superior al fundamental.

Las corrientes armónicas provocan un aumento de las pérdidas de Joule en todos los conductores por los que circulan y un aumento adicional en la temperatura de transformadores, equipos y cables.

3.6.4. Sobrecarga de los equipos instalados

Uno de los efectos producidos por la distorsión armónica es la sobrecarga pues los equipos perciben un aumento de carga producido por la presencia de los mismos.

3.6.5. Fuentes de emergencia UPS's

La corriente absorbida por los equipos informáticos presenta un factor de cresta elevado. Un UPS dimensionado únicamente teniendo en cuenta el valor de la corriente eficaz puede no ser capaz de alimentar los picos de corriente requeridos y de este modo sobrecargarse.

3.6.6. Condensadores

En los sistemas eléctricos de potencia se utilizan bancos de condensadores para control de voltaje con el fin de mejorar o corregir el factor de potencia, pero su frecuencia constituye una de las componentes que afectan

las características de la llamada respuesta a la frecuencia del sistema, ya que en los condensadores puede dar lugar a condiciones de resonancia en serie o en paralelo, que eventualmente amplifican los problemas de armónicas.

3.6.7. Conductores de neutro

En sistemas trifásicos balanceados sin contenido armónico, las líneas de corriente están desfasadas 120° , cancelándose unas con las otras resultando todo esto en una corriente muy pequeña. Sin embargo, cuando hay distorsión en cualquiera de las fases, los armónicos de las corrientes aumentan y el efecto de cancelación es reducido.

El resultado es típicamente una corriente de neutro que es significativamente mayor que lo planeado. Los armónicos “triples” (múltiplos de tres) son un aditivo en el neutro y pueden rápidamente causar un sobrecalentamiento peligroso.

En teoría la corriente máxima que el neutro debería cargar es 1,73 veces la corriente de fase. Si no es dimensionado correctamente, esto resultará en un sobrecalentamiento. Además un valor de corriente de neutro mayor al normal causará caídas de voltaje entre neutro y tierra.

3.6.8. Perturbaciones en cargas sensibles

- Efectos de la distorsión de la tensión de alimentación: puede perturbar el funcionamiento de aparatos sensibles como: dispositivos de regulación (temperatura), material informático, dispositivos de control y monitorización (relés de protección).

- Perturbaciones en líneas telefónicas: los armónicos generan perturbaciones en los circuitos con la circulación de corrientes bajas. El grado de perturbación depende de la distancia de avance en paralelo de los cables de potencia y de señal, la distancia entre las líneas y la frecuencia de los armónicos.

3.6.9. Impacto económico

- Pérdidas energéticas: el efecto Joule inducido por las corrientes armónicas en los conductores y equipos, causa pérdidas energéticas adicionales.
- Costos adicionales de potencia contratada: la presencia de corrientes armónicas provoca que se incremente el nivel de potencia contratada y, consecuentemente, el costo de la suscripción. Lo que es más, los distribuidores de energía tenderán a penalizar en el futuro a quienes produzcan perturbaciones armónicas.
- Sobredimensionado de los equipos: el descalaje de las fuentes de energía (generadores, transformadores y SAI's) implica su sobredimensionado. Los conductores deben ser dimensionados teniendo en cuenta la circulación de las corrientes armónicas.

Debido a que las frecuencias de los armónicos son mayores que la de la fundamental, las impedancias que se presentan para estas corrientes son mayores. Para evitar excesivas pérdidas debidas al efecto Joule es necesario sobredimensionar los conductores. La circulación de corrientes armónicas en el conductor neutro implica su sobredimensionado.

3.6.10. Error de medición

La presencia de armónicas afecta severamente la lectura de los instrumentos, lo que implica tomar en cuenta diversas precauciones al realizar una lectura. Este análisis se realiza y se refiere a los instrumentos de uso frecuente.

- Instrumentos de aguja de tipo electro dinamométrico: estos instrumentos son los de uso más común en tableros industriales. Su principio de funcionamiento es tal que indican el verdadero valor efectivo de la onda. Dado que emplean inductancias y solo consideran usualmente hasta la quinta armónica en forma fidedigna. Su mayor problema se relaciona con la calibración ya que, al existir piezas mecánicas giratorias, el roce provoca un error de lectura que en la mayoría de los casos tiende a ser una medición baja.
- Instrumentos digitales con rectificador a la entrada: la gran mayoría de los instrumentos digitales a la entrada disponen de un rectificador de modo que realmente miden el valor medio de la onda rectificada. Por cierto, si la onda es sinusoidal el instrumento es de buena precisión. Si la onda contiene armónicas, el instrumento mide un valor inferior al valor eficaz.

En la medición de corrientes como las registradas en computadores, el instrumento mide un 30 % menos que el valor efectivo (RMS) de la corriente.

- Instrumentos de verdadero valor efectivo: en general, en estos instrumentos de tipo digital, se emplea un sensor que registra la

elevación de temperatura en una resistencia por la cual circula la corriente a medir. Por tanto, el instrumento mide el verdadero valor efectivo de la corriente (o de voltaje) incluyendo todas las armónicas. Debido a que se mide un fenómeno térmico el instrumento no es apto para medir consumos de rápida variación. Otros equipos de mayor calidad realizan la medición empleando un convertidor analógico-digital.

3.7. Estándares en armónicos

Existen varias organizaciones tanto nacionales como internacionales trabajando conjuntamente con ingenieros, fabricantes de equipos, y organizaciones investigativas para proponer las normas y pautas gobernantes, prácticas recomendadas y los límites de distorsión armónica. El principal objetivo de las normas es proveer una guía común a todas las partes involucradas para trabajar juntas con el fin de asegurar la compatibilidad entre los equipos de uso final y los sistemas de distribución de energía eléctrica.

Se analizará las principales normas que gobiernan los límites de armónicos, entre ellas:

- IEEE 519-1992
- IEC 61000
- IEC 61000-2-2
- IEC 61000-3-2
- IEC 61000-3-4
- IEC 61000-3-6
- NRS 048-2
- EN50160
- CONELEC 004/01

3.7.1. IEEE Standard 519-1992

La filosofía, detrás de esta norma, busca limitar la inyección armónicos de los clientes individuales de manera que no creen voltajes inaceptables de distorsión bajo las características normales del sistema y limitar la distorsión armónica total del voltaje proporcionado por el proveedor. Los límites de distorsión de voltaje y corriente deben usarse como valores de diseño de los sistemas eléctricos para el peor de los casos, en condiciones de operación normales que duran más que 1 hora. Para períodos más cortos, como los arranques, los límites pueden ser excedidos en un 50 %.

Este estándar divide la responsabilidad de limitar las armónicas entre los usuarios finales y las empresas de distribución. Los usuarios finales serán responsables de limitar las inyecciones de corrientes armónicas, mientras que los proveedores serán principalmente responsables de limitar la distorsión de voltaje en la red de distribución.

Los límites de corriente y voltaje armónicos para este estándar son analizados en el PCC1. Este es el punto donde otros clientes comparten la misma red o donde pueden conectarse nuevos clientes en el futuro. La norma busca un acercamiento justo de asignación de cuota de límite de armónicos para cada cliente. La norma asigna límites de la inyección de corriente basados en el tamaño de la carga con respecto al tamaño del sistema de potencia, el mismo que está definido por su capacidad de cortocircuito.

La relación de cortocircuito está definida como la proporción de corriente de cortocircuito máximo en el PCC para la máxima demanda de corriente de carga (componente de frecuencia fundamental) en el PCC.

La base para limitar las inyecciones armónicas de los clientes individuales es evitar niveles inaceptables de distorsiones de voltaje.

Por eso los límites de corriente se establecen de tal manera que las inyecciones armónicas totales para cada cliente individual no excedan la distorsión de voltaje máxima mostrada en la tabla X.

Tabla X. Distorsión de voltaje máximo

Relación de	Voltaje máximo individual de	Caso supuesto
10	2.5 -3.0	Sistema dedicado
20	2.0 – 2.5	1 – 2 Clientes grandes
50	1.0 – 1.5	Pocos clientes relativamente
10	0.5 – 1.0	5 - 20 Clientes medianos
1000	0.05 – 0.10	Muchos clientes pequeños

Fuente: Control de armónicos IEEE 519.

La tabla X muestra los límites de corrientes armónicas para varios tipos de sistemas. En cargas más pequeñas, valores con relación de cortocircuito típicamente más grande, es permitido un porcentaje mayor de corrientes armónicas que en las cargas más grandes con valores menores de relación de cortocircuito. Las cargas más grandes deben ser sometidas a límites más estrictos de distorsión dado que ocupan una porción más grande de la capacidad de carga de sistema.

Los límites de corriente toman en cuenta la diversidad de corrientes armónicas de las cuales algunas armónicas tienden a cancelarse mientras que otras se suman.

Los límites de corrientes armónicas en el PCC son establecidos para limitar voltajes individuales de distorsión y distorsiones totales de voltaje THDv para los valores mostrados en la tabla X. Puesto que de la distorsión de voltaje depende la impedancia del sistema, la clave de controlar la distorsión de voltaje es controlar la impedancia. Dos condiciones principales que producen una impedancia alta son cuando el sistema es demasiado débil para alimentar la carga adecuadamente o cuando el sistema está en resonancia, el último es el más común.

Por consiguiente, si se mantiene el voltaje de distorsión en valores reducidos aseguramos que el sistema se mantenga fuera de resonancia. Ocasionalmente nuevos transformadores y líneas tendrán que ser agregadas para incrementar la robustez del sistema.

Tabla XI. **Tabla de distorsión**

Voltaje nominal en el	Voltaje de distorsión	Voltaje de distorsión
$V_n \leq 69$	3.0	5.0
$69 \leq V_n \leq 161$	1.5	2.5
$V_n > 69$	1.0	1.5

Fuente: Control de armónicos IEEE 519.

La norma IEEE 519-1992 representa un consenso general de pautas y prácticas recomendadas por los distribuidores y sus clientes en un esfuerzo por minimizar y controlar el impacto de armónicos generados por cargas no lineales.

3.7.2. Normas de IEC para armónicos

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), actualmente con oficina principal en Ginebra, Suiza ha definido una categoría de normas de compatibilidad electromagnética (EMC) que tratan problemas de la calidad de la energía eléctrica. El término compatibilidad electromagnética incluye las preocupaciones tanto para interferencias radiadas como para interferencias conducidas en equipos terminales. Las normas de IEC están divididas en seis partes:

- Parte 1: General. Estas normas tratan consideraciones generales como introducción, principios fundamentales, razón, definiciones y terminologías. También pueden describir la aplicación e interpretación de definiciones fundamentales y condiciones. Su número de designación es IEC 61000-1-x.
- Parte 2: Ambiente. Estas normas definen las características del ambiente en donde funcionará el equipo, la clasificación del mismo y sus niveles de compatibilidad. Su número de designación es IEC 61000-2-x.
- Parte 3: Límites. Estas normas definen los niveles permisibles de emisiones que pueden ser generadas por el equipo conectado en el

ambiente. Esta establece límites numéricos de emisión y también límites de inmunidad. Su número de designación es IEC 61000-3-x.

- Parte 4: Técnicas de prueba y medida. Estas normas proporcionan pautas detalladas para el equipo de medida y procedimientos de prueba para asegurar la conformidad con otras partes de las normas. Su número de designación es IEC 61000-4-x.
- Parte 5: Instalación y formas de mitigación. Estas normas proporcionan las pautas en aplicación de equipo como aterramiento y cableado de sistemas eléctricos y electrónicos para asegurar la compatibilidad electromagnética entre aparatos o sistemas eléctricos y electrónicos. También describen conceptos de protección para medios civiles contra impulsos electromagnéticos de alta magnitud debido a explosiones nucleares. Se designan con IEC 61000-5-x.
- Parte 6: Misceláneos. Estas son las normas genéricas de definición de inmunidad y niveles de emisiones requeridas para equipos en categorías generales o para tipos de equipos específicos. Se designan con el número IEC 61000-6-x. Las normas IEC relacionadas a las armónicas generalmente recaen en las partes 2 y 3.

Al contrario de las normas de IEEE para armónicos en donde hay una sola publicación que cubre todos los problemas relacionados a este tema, las normas IEC para armónicos están separadas en varias publicaciones.

Hay estándares que tratan acerca de los ambientes y límites que por ser muy extensos están separados, basados en los niveles de voltaje y corriente. Estas normas son las mostradas a continuación:

IEC 61000-2-2 (1993): EMC Parte 2. Ambiente. Sección 2: niveles de compatibilidad para perturbaciones dirigidas de baja frecuencia y señalización en sistemas públicos de alimentación de baja tensión.

IEC 61000-3-2 (2000): EMC Parte 3: límites. Sección 2: límites para emisiones de corrientes armónicas (Equipos con entrada de corriente igual superior a 16A por fase).

IEC 61000-3-4 (1998): EMC Parte 3: límites. Sección 4: limitación de emisión de corrientes armónicas en sistemas de alimentación de energía de baja tensión para equipos con rango de corriente mayor que 16 A.

IEC 61000-3-6 (1996): EMC Parte 3: límites. Sección 6: valoración de límites de emisión para cargas distorsionadas en redes de media y alta tensión. Publicación EMC básica. Hasta 1997 estas normas eran conocidas como las normas de la serie 1000.

Por ejemplo, IEC 61000-2-2 era conocida como IEC 1000-2-2. Estos estándares de armónicos son generalmente adoptados por la Comunidad Europea (CENELEC); por eso, también se designan como la serie EN 61000. Por ejemplo, IEC 61000-3-2 también es conocida como EN 61000-3-2.

3.7.2.1 IEC 61000-2-2

IEC 61000-2-2 define niveles de compatibilidad para perturbaciones conducidas de baja frecuencia y señalización en redes de suministro eléctrico de baja tensión como sistemas monofásicos y trifásicos a 50 o 60 Hz con voltajes nominales de hasta 240 y 415 V, respectivamente. Los niveles de

compatibilidad están definidos empíricamente de modo que reducen el número de demanda de mala operación a un nivel aceptable. Estos niveles no son rígidos y puede excederse en algunas condiciones excepcionales. Los niveles de compatibilidad para voltajes armónicos individuales en redes de baja tensión son mostrados en la tabla XII. Estos son determinados en porcentaje del voltaje fundamental.

Tabla XII. **Redes de baja tensión**

Números múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden impar h	Voltaje armónico	Orden	Voltaje armónico	Orden par h	Voltaje armónico
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21	0,2	10	0,2
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>1	0,2
25	1,5				
>2	0,2+1,3*25/h				
Se considera que en el THD de la tensión de alimentación de considera que los componentes armónicos mayores a 40th son menores al 8 %					

Fuente: Control de armónicos IEEE 519.

3.7.2.2 IEC 61000-3-2 e IEC 61000-3-4

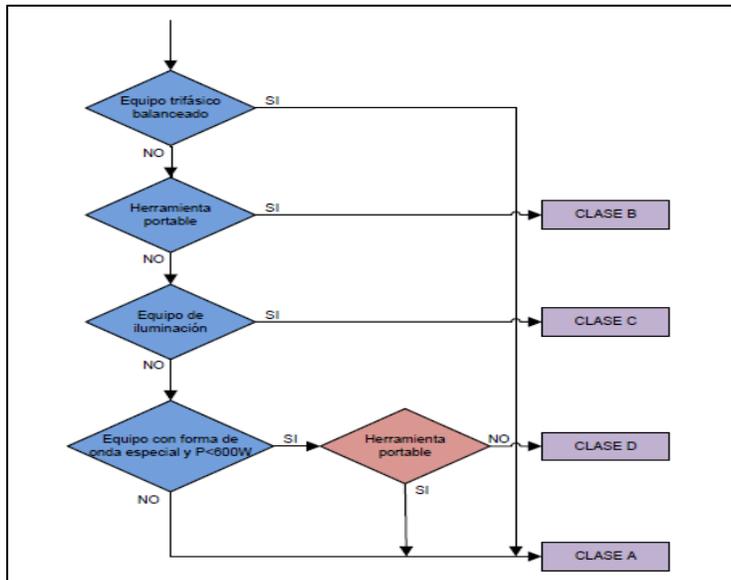
Tanto IEC 61000-3-2 como 61000-3-4 definen límites de emisión de corrientes armónicas para equipos de visualización de corrientes de entrada de hasta 16 A y mayores a 16 A por fase, respectivamente. Estos estándares están

destinados a limitar las emisiones de armónicos para los equipos conectados a la red pública de baja tensión, de manera que conforme con los límites seguros de voltaje en la red pública satisfaga los límites de compatibilidad definidos en IEC 61000-2-2. El estándar IEC 61000-3-2 es la evolución de la norma IEC 555-2 (EN 60555-2). La norma clasifica los equipos en cuatro categorías:

- Clase A: equipos trifásicos balanceados y todos los demás equipos no pertenecientes a las clases B, C y D.
- Clase B: herramientas portátiles.
- Clase C: equipos de iluminación incluyendo dispositivos de atenuación (dimmer).
- Clase D: equipo con entrada de corriente con forma de onda especial y con consumo de potencia activa menor a 600 W.

La figura 76 puede usarse para clasificar los equipos en IEC 61000-3-2. Debe notarse que los equipos de clases B y C y equipos de control de motores no son considerados equipos clase D si no se toma en cuenta la forma de onda de su entrada de corriente.

Figura 76. Clasificación de equipos



Fuente: Departamento de Ingeniería: ULPGC.

La máxima corriente armónica permisible para las clases A, B, C y D es determinada con la medida de amperaje real tomada en la entrada de corriente del equipo. Nótese que el límite de corriente de armónicos para equipos de clase B es el 150 % de los de clase A.

Los límites de corrientes armónicas acordes a IEC 61000-3-2 se muestran en las tablas XIII, XIV y XV. Nótese que los límites de corrientes armónicas para equipos de clase D están especificados en números absolutos y valores relativos a la potencia activa. Estos límites solo aplican a equipos con consumos de potencia de hasta 600 W.

Tabla XIII. **Límites de corrientes armónicas 1**

Orden impar h	Máximo valor de corriente permitido (A)	Orden par H	Máximo valor de corriente permitido (A)
3	2,3	2	1,08
5	1,14	4	0,43
7	0,77	6	0,3
9	0,4	8-40	0,23*8/h
11	0,33		
13	0,21		
15-39	0,15*15/h		

Fuente: Control de armónicos IEEE 519.

Tabla XIV. **Límites de corrientes armónicas 2**

Orden del armónico h	Máximo valor de corriente permitido (%)
2	2
3	30*Factor de potencia del circuito
5	10
7	5
9	7
11-39	3
Porcentaje de la corriente fundamental de ingreso	

Fuente: Control de armónicos IEEE 519.

La norma IEC 61000-3-4 limita las emisiones de equipos de visualización de corrientes mayores a 16 A y hasta 75 A. Conexiones de este tipo de equipos no requiere la aprobación de la empresa de distribución. Límites de armónicos de corrientes basado en esta norma se muestran en la tabla XV.

Tabla XV. **Límites de corrientes armónicas 3**

Armónico de orden H	Máxima corriente armónica permitida (%)	
	Por vatio (mA/W)	(A)
2	3,4	2,3
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,50	0,40
13	0,35	0,33
11-39	3,86/h	

Fuente: Control de armónicos IEEE 519.

3.7.2.3. IEC 61000-3-6

IEC 61000-3-6 especifica límites de emisión de corriente armónica para equipos conectados a sistemas de media tensión MT y alta tensión AT. En el contenido de la norma, MT y AT se refieren a voltajes entre 1 y 35 KV y entre 35 y 230 KV, respectivamente. Un voltaje superior a 230 KV es considerado extra alta tensión (EAT), mientras que un voltaje menor a 1 KV es considerado baja tensión (BT). Para nuestro caso solamente se analizará la normativa referente a BT.

Tabla XVI. **Normativa de baja tensión**

Armónico de orden h	Máxima corriente armónica permitida (%)	Armónico de orden h	Máxima corriente armónica permitida (%)
2	21,6	19	1,1
5	10,7	21	0,6
7	7,2	23	0,9
9	3,8	25	0,8
11	3,1	27	0,6

Continuación de la tabla XVI.

13	2	29	0,7
15	0,7	31	0,7
17	1,2	33	0,6

Fuente: Control de armónicos IEEE 519.

La norma proporciona niveles de compatibilidad y planificación de voltajes armónicos en sistemas de BT y MV.

Nivel de compatibilidad se refiere a un nivel donde la afinidad entre el equipo y su ambiente se logra. El nivel de compatibilidad es normalmente establecido empíricamente para que un equipo sea compatible con su ambiente la mayoría del tiempo. Los niveles de compatibilidad generalmente son basados en el 95 % de nivel de probabilidad, por ejemplo, para que el 95 % del tiempo la compatibilidad se pueda lograr. La tabla XVII muestra los niveles de compatibilidad para los voltajes armónicos como un porcentaje del voltaje fundamental en sistemas de BT y MV.

Tabla XVII. **Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos**

Armónicos impares				Armónicos pares	
Números múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden h	Voltaje armónico (%)	Orden H	Voltaje armónico (%)	Orden H	Voltaje armónico (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2

Continuación de la tabla XVII

23	1,5			>12	0,2
>25	1,5				
>25	$0,2+1,3*25/h$				

Fuente: Control de armónicos IEEE 519.

Los niveles de planificación son criterios del plan o niveles especificados por la compañía de suministro.

Los niveles de planificación son más severos que los niveles de compatibilidad. Así, sus niveles son más bajo que los niveles de compatibilidad.

Niveles de planificación para voltaje armónico expresado en el porcentaje del principio de voltaje para MT son determinados en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. **Principio de voltaje para MT**

Armónicos impares				Armónicos pares	
Números múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden H	Voltaje armónico (%)	Orden h	Voltaje armónico (%)	Orden h	Voltaje armónico (%)
5	5	3	4	2	1,6
7	4	9	1,2	4	1
11	3	1	0,3	6	0,5
13	2,5	2	0,2	8	0,4
17	1,6	>21	0,2	10	0,4
19	1,2			12	0,2
23	1,2			>12	0,2
25	1,2				
>25	$0,2+0,5*25/h$				

Fuente: Control de armónicos IEEE 519.

3.7.3. NRS 048-02

El Estándar de Calidad de Suministro, NRS 048-02, es la norma sudafricana para distribución con calidad de la energía eléctrica y ha sido implementada desde el 1 de julio de 1997. Esta norma exige a los proveedores de electricidad medir e informar su calidad de suministro al Regulador Nacional de Electricidad.

El NRS 048-02 está dividido en cinco partes. Es, quizás, la norma más completa que trata con todos los aspectos de calidad de suministro. Cubre el reglas mínimas de calidad de suministro (QoS), medida y reporte de QoS, aplicación y pautas de implementación para QoS, e instrumentación para el monitoreo y registro de la calidad de voltaje.

Esta norma establece estándares mínimos para la calidad del producto eléctrico proporcionado por los proveedores a los usuarios finales.

Los estándares mínimos incluyen límites de voltajes armónicos e interarmónicos, flikers de voltaje, desequilibrio de voltaje, caídas de tensión, regulación de voltaje y frecuencia.

NRS 048-02 adopta límites de voltaje armónicos del estándar IEC 61000-2-2 mostrados en la tabla XII así como sus normas de compatibilidad para sistemas de baja y media tensión. Para los sistemas sudafricanos, el voltaje nominal en las redes de baja tensión es menor a 1 KV, mientras que para los sistemas de media tensión los rangos están entre 1 y 44 KV. No ha establecido todavía límites de armónicos de voltaje para sistemas de alta tensión. Sin embargo, adopta IEC 61000-3-6 planeación de niveles para voltajes armónicos en sistemas de alta y extra alta tensión como su planificación de límites

recomendado para sistemas de alta tensión (el voltaje nominal está entre 200 y 400 KV).

3.7.4. EN 50160

Es un estándar europeo que trata los requerimientos de calidad del suministro para proveedores de ese continente. La norma define los niveles específicos de voltaje característicos que deben ser entregados por los distribuidores de energía eléctrica y métodos para evaluar la conformidad del suministro. EN 50160 fue aprobado por el Comité Europeo para la Estandarización Electrotécnica (CENELEC) en 1994. EN 50160 prescribe características de voltaje en los puntos de suministro a clientes o en las redes de distribución de baja y media tensión bajo condiciones normales de operación.

En otros términos, EN 50160 se confina a características de voltaje en el PCC y no especifica los requisitos de calidad de la energía dentro del sistema del suministro o dentro de la instalación del cliente.

Los límites de voltaje armónico para EN 50160 son dados en porcentaje del voltaje fundamental. Estos se aplican a sistemas alimentados ya sea con BT o MT, o sea para voltajes de hasta 35 KV. Los límites de voltaje armónicos se muestran en la tabla XIX. La distorsión armónica total del voltaje de alimentación que incluye todos los armónicos hasta el 40 no debe exceder el 8 %. Valores de distorsión de orden superior no son tomados en cuenta ya que son demasiado pequeños como para establecer un valor de la referencia significativa.

Tabla XIX. **Límites de voltaje armónicos**

Armónicos impares				Armónicos pares	
Números múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden h	Voltaje armónico (%)	Orden h	Voltaje armónico (%)	Orden H	Voltaje armónico (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6-24	0,5
13	3	21	0,2		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				

Fuente: Control de armónicos IEEE 519.

Al notar que los límites en EN 50160 son casi idénticos a los niveles de compatibilidad para los voltajes armónicos según la norma IEC 61000-3-6 correspondientes a sistemas de BT y MT, salvo la ausencia de los límites armónicos de orden superior en EN 50160.

3.8. Propuesta de iluminación

A continuación se presenta una propuesta para iluminar el edificio de Rectoría utilizando luminarias led con el fin de realizar un análisis de armónicos producidos por este tipo de luminarias generalmente por la electrónica utilizada por las diferentes fabricas especializadas ya sea de alta especificación o de baja especificación.

Se iniciará con un boceto preliminar del edificio. Se intentará marcar las líneas rectas y simétricas que son características del edificio buscando darle un toque que pueda ser atractivo para los diferentes tipos de estudiantes que lo pueden apreciar. Es importante pues dependiendo del observador le puede parecer el resultado agradable o desagradable, por lo que se debe buscar un punto intermedio entre lo extravagante y lo extremadamente sencillo.

Figura 77. **Edificio de Rectoría sin iluminar**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

En la figura anterior se muestra el edificio sin ningún tipo de iluminación se puede notar que sus líneas rectas hacen que el edificio sea una figura difícil para iluminar pues no se tiene detalles para resaltar.

3.8.1. Elección de luminaria

Para elegir la luminaria a utilizar se tomaran en cuenta las preguntas mencionadas anteriormente ¿qué iluminar?, ¿cómo iluminar? y ¿con qué iluminar?

- ¿Qué iluminar?

Para este caso se iluminara toda la fachada del edificio, principalmente se iluminara las columnas, se tratara de resaltar todo el contorno del mismo con el fin de lograr una figura visible y remarcada con la luz.

- ¿Cómo iluminar?

Para lograr el efecto buscado sobre las columnas de luz se colocaran luminarias en la parte superior e inferior de cada columna en direcciones opuestas es decir una en donde la fuente de luz se desplace de arriba hacia abajo y otra en donde la luz se desplace de abajo hacia arriba en todo el contorno del edificio,

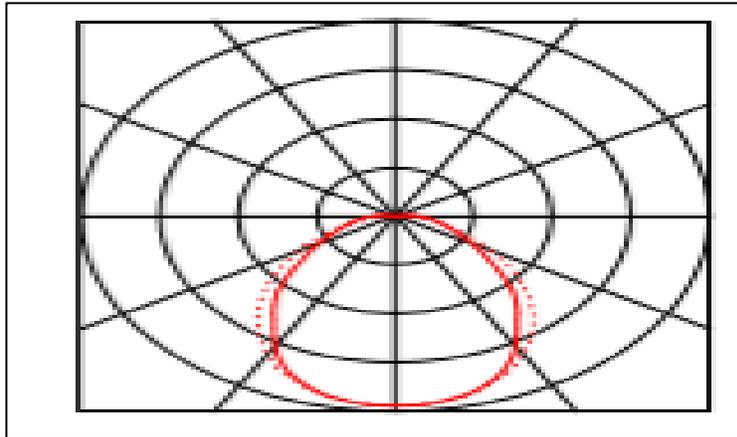
- ¿Con qué iluminar?

Se utilizará luminarias tipo Wall Washer con el fin de hacer que la luz emitida por la luminaria este lo más pegada posible a la pared y que su medio de trasportarse sea la pared, se tomara en cuenta también la elección de una luminaria led RGB, con el fin de hacer que las mismas cambien de color.

La luminaria elegida para realizar esta iluminación se presenta a continuación. Esta es una luminaria tipo Wall Washer de la marca Philips llamada Color Graze Powercore. Con las siguientes características:

Luminaria RGB de 16w también se muestra la gráfica de su curva fotométrica, por la forma de la curva se puede apreciar que efectivamente es lo que se busca, pues el desplazamiento de la luz es más centrado y alargado produciendo así el efecto de la luz en las columnas.

Figura 78. **Curva fotométrica color graze EC power core**



Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación 2007*. p. 89.

3.8.2. Memoria de cálculo para la instalación

A continuación se hará una memoria de cálculo para iniciar con el proceso de la instalación de las luminarias. En total se colocarán 96 luminarias cada una con potencia de 16w, y se conectarán a un tablero monofásico con voltaje de 120V. Se utilizarán protecciones de acuerdo al mercado y se usarán conductores según la tabla de ampacidades del NEC 310-16.

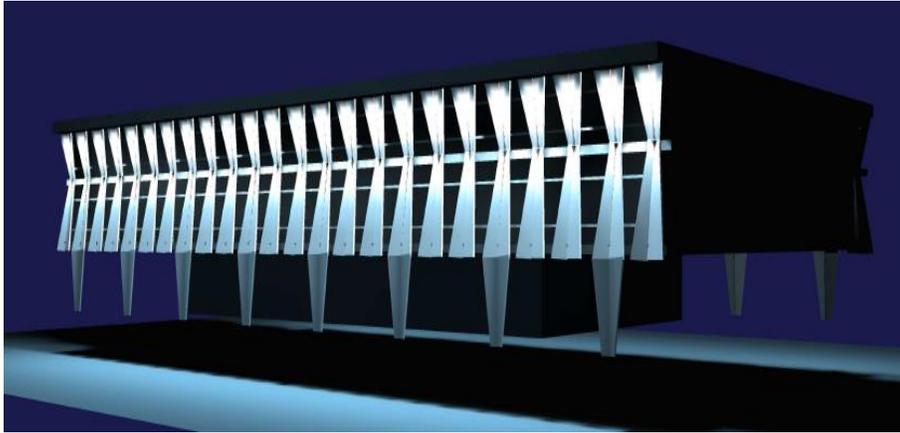
Tabla XX. **Memoria de cálculo para instalación**

	TIPO	CANTIDAD (unidades)	POTENCIA UNITARIA W	TOTAL POTENCIA (unidades * potencia)	VOLTAJE NOMINAL (disponible)	CORRIENTE TOTAL POR CIRCUITO (Pcia/vlt)	CALIBRE DE CONDUCTOR (segun tabla NEC 310-16)	PROTECCION TERMICA (comercial)
Circuito 1	LUMINARIA LED RGB	24	16	384	120	3.2	14	15
Circuito 2	LUMINARIA LED RGB	24	16	384	120	3.2	14	15
Circuito 3	LUMINARIA LED RGB	24	16	384	120	3.2	14	15
Circuito 4	LUMINARIA LED RGB	24	16	384	120	3.2	14	15

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

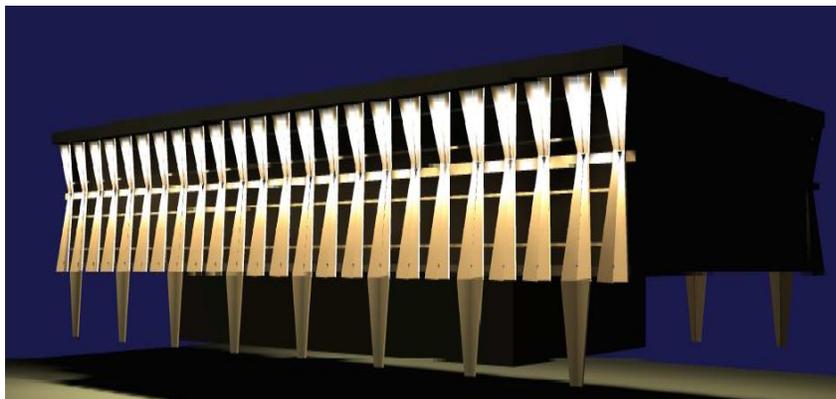
Al instalar las siguientes luminarias se logrará un efecto de iluminación, como se muestra en la siguiente figura: puede apreciar como resaltan las columnas tanto en la parte superior como en la inferior se logran matices que hacen que el edificio luzca sus líneas con una iluminación elegante y en donde se hace notar en horas de la noche y es visto una vez por cada persona que camine en sus alrededores.

Figura 79. **Edificio de Rectoría con iluminación azul**



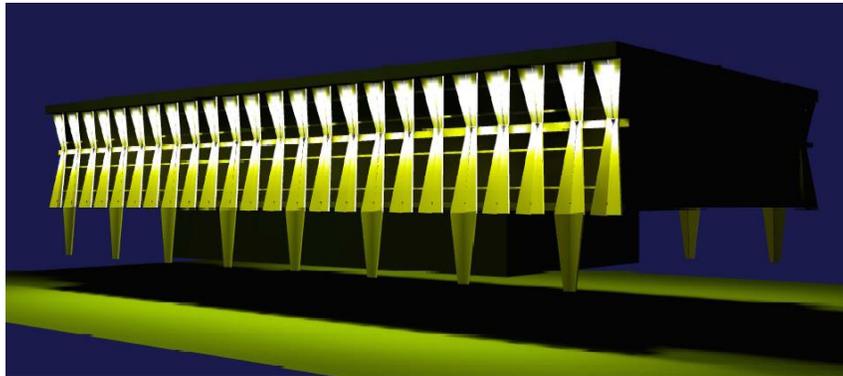
Fuente: elaboración propia, con programa Relux.

Figura 80. **Edificio de Rectoría con iluminación naranja**



Fuente: elaboración propia, con programa Relux.

Figura 81. **Edificio de Rectoría con iluminación amarilla**



Fuente: elaboración propia, con programa Relux.

El edificio ha cambiado ahora, presenta una mayor iluminación y un mejor contraste con todo lo que está a su alrededor, este tipo de iluminación ha sido realizado en ciudades emblemáticas alrededor del mundo y se logra mediante los avances tecnológicos; pues no se podría realizar algo parecido usando tecnologías antiguas.

A continuación se dan a conocer algunos ejemplos de este tipo de iluminación en donde resalta la arquitectura de los edificios combinada con una buena iluminación y con un buen cálculo de conductores protecciones, ya sea termo magnéticas y de armónicos.

Figura 82. **Torre inclinada de Pisa**



Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación 2007*. p. 26.

Figura 83. **Catedral Almudena**



Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación 2007*. p. 26.

Figura 84. **Catedral Antigua Guatemala**



Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación 2007*. p. 26.

Figura 85. **Torre Eiffel**



Fuente: VILA, Izabel. *Controles de iluminación 2007*. p. 26.

La importancia de una iluminación no solo hace que los edificios luzcan bien de día y de noche, si no que las ciudades ofrecen un valor agregado para sus visitantes, pues logran mostrar detalles que sin iluminación sería imposible de captar.

3.9. Análisis de armónicos

Se debe recordar que los equipos electrónicos son productores de armónicos y las luminarias, por muy pequeñas que sean, son productoras de los mismos por lo que cuando se observan diseños con luminarias no solo se debe pensar: ¡es muy agradable la iluminación! sino que también ¡este tipo de iluminación está produciendo armónicos!

A continuación se realiza el análisis de armónicos para la luminaria elegida para ello también es necesario utilizar equipo que se capaz de tomar la lectoría de los armónicos como tal en la red. El equipo utilizado para este fin es un medidor de parámetros eléctricos marca AEMC modelo 3945B.

3.9.1. Contenido del análisis

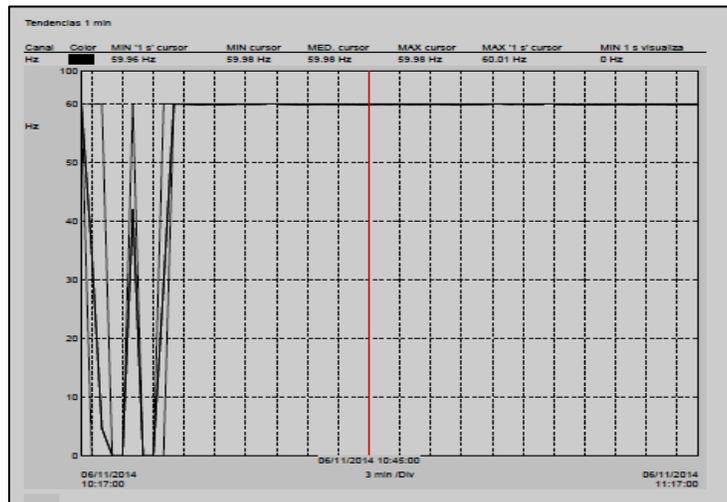
- Objetivos
- Análisis de graficas de parámetros eléctricos medidos
- Conclusiones
- Recomendaciones

3.9.2. Objetivos del estudio

- Determinar cómo se comportan los parámetros eléctricos, cuando se tiene una iluminación led dentro de las instalaciones de un edificio con operaciones variadas.
- Determinar la producción de armónicos de la iluminación led, verificar voltajes, corrientes, potencias y factor de potencia.

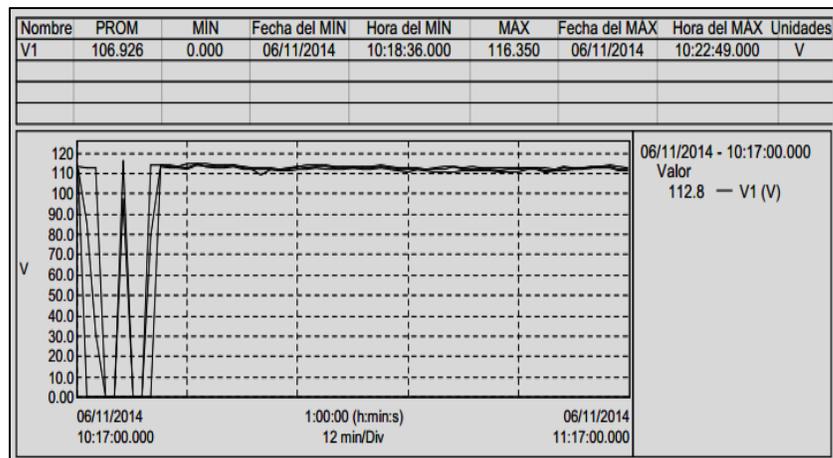
Análisis de graficas de parámetros eléctricos medidos.

Figura 86. **Gráfica de frecuencia**



Fuente: elaboración propia, con programa Pel103.

Figura 87. **Gráfica de voltaje**



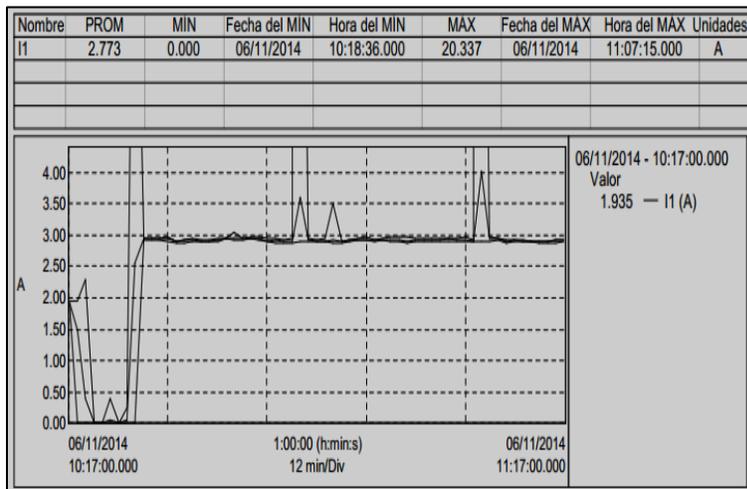
Fuente: elaboración propia, con programa Pel103.

Tabla XXI. Valores medidos de voltaje

V1 (V)						
Fecha	Hora	PROM	Hora del MIN	MIN	Hora del MÁX	MAX
06/11/2014	10:17:00.000	112.81	10:16:04.000	112.15	10:16:23.000	113.39
06/11/2014	10:18:00.000	85.850	10:17:36.000	0.0000	10:17:16.000	112.84
06/11/2014	10:19:00.000	31.640	10:18:04.000	0.0000	10:18:10.000	113.12
06/11/2014	10:20:00.000	20.000m	10:19:04.000	0.0000	10:19:03.000	0.0000
06/11/2014	10:21:00.000	20.000m	10:20:04.000	0.0000	10:20:03.000	0.0000
06/11/2014	10:22:00.000	97.220	10:21:04.000	0.0000	10:21:49.000	116.35
06/11/2014	10:23:00.000	20.000m	10:22:04.000	0.0000	10:22:03.000	0.0000
06/11/2014	10:24:00.000	20.000m	10:23:04.000	0.0000	10:23:03.000	0.0000
06/11/2014	10:25:00.000	79.560	10:24:04.000	0.0000	10:24:58.000	114.38
06/11/2014	10:26:00.000	113.87	10:25:57.000	113.30	10:25:34.000	114.22
06/11/2014	10:27:00.000	113.48	10:26:07.000	113.10	10:26:11.000	113.93
06/11/2014	10:28:00.000	113.28	10:27:08.000	112.83	10:27:41.000	113.73
06/11/2014	10:29:00.000	113.04	10:28:34.000	112.22	10:28:56.000	114.57
06/11/2014	10:30:00.000	114.56	10:29:07.000	114.10	10:29:34.000	115.08

Fuente: elaboración propia, con programa Pel103.

Figura 88. Gráfica de corriente



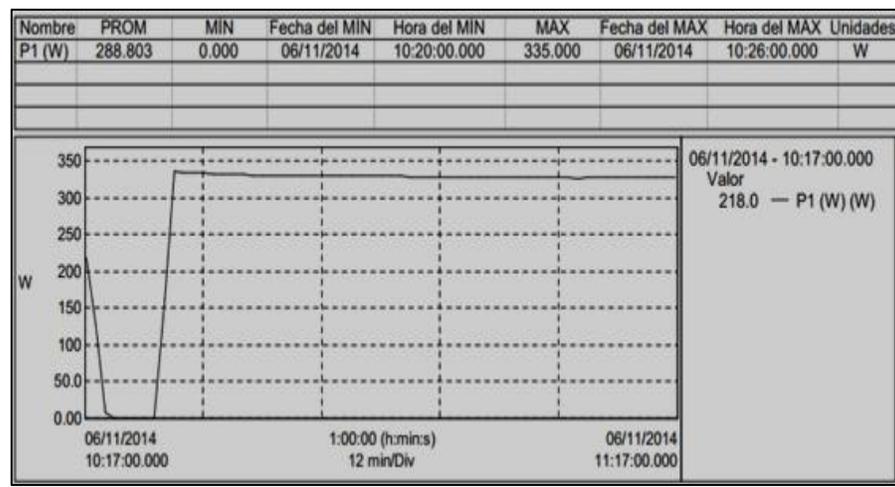
Fuente: elaboración propia, con programa Pel103.

Tabla XXII. Valores medidos de corriente

06/11/2014 - 10:17:00.000						
Valor 1.935 — I1 (A)						
I1 (A)						
Fecha	Hora	PROM	Hora del MIN	MIN	Hora del MAX	MAX
06/11/2014	10:17:00.000	1.9352	10:16:23.000	1.9241	10:16:04.000	1.9491
06/11/2014	10:18:00.000	1.4761	10:17:36.000	0.0000	10:17:05.000	1.9422
06/11/2014	10:19:00.000	0.400	10:18:04.000	0.0000	10:18:08.000	2.2975
06/11/2014	10:20:00.000	400.00u	10:19:04.000	0.0000	10:19:03.000	0.0000
06/11/2014	10:21:00.000	400.00u	10:20:04.000	0.0000	10:20:03.000	0.0000
06/11/2014	10:22:00.000	51.000m	10:21:04.000	0.0000	10:21:15.000	0.395
06/11/2014	10:23:00.000	400.00u	10:22:04.000	0.0000	10:22:03.000	0.0000
06/11/2014	10:24:00.000	42.800m	10:23:04.000	0.0000	10:23:41.000	0.242
06/11/2014	10:25:00.000	2.5620	10:24:04.000	0.0000	10:24:32.000	10.258
06/11/2014	10:26:00.000	2.9422	10:25:34.000	2.9319	10:25:57.000	2.9541
06/11/2014	10:27:00.000	2.9434	10:26:11.000	2.9335	10:26:07.000	2.9578
06/11/2014	10:28:00.000	2.9444	10:27:41.000	2.9340	10:27:21.000	2.9549
06/11/2014	10:29:00.000	2.9479	10:28:56.000	2.9002	10:28:34.000	2.9712
06/11/2014	10:30:00.000	2.8968	10:29:34.000	2.8829	10:29:07.000	2.9115

Fuente: elaboración propia, con programa Pel103.

Figura 89. Gráfica de potencia



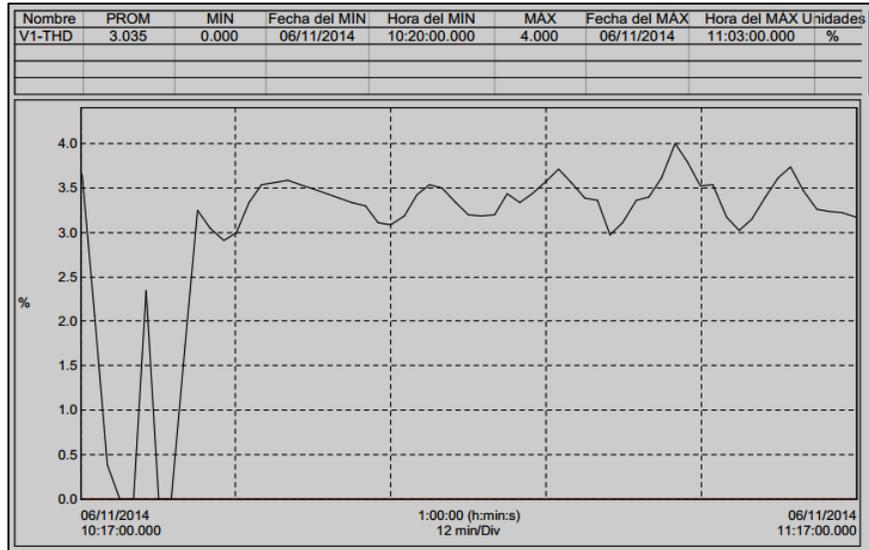
Fuente: Elaboración propia, con programa Pel103.

Tabla XXIII. **Valores medidos de potencia**

06/11/2014 - 10:17:00.000						
Valor						
218.0 — P1 (W) (W)						
P1 (W) (W)						
Fecha	Hora	PROM	Hora del MIN	MIN	Hora del MAX	MAX
06/11/2014	10:17:00.000	218.00	10:17:00.000	218.00	10:17:00.000	218.00
06/11/2014	10:18:00.000	127.00	10:18:00.000	127.00	10:18:00.000	127.00
06/11/2014	10:19:00.000	8.0000	10:19:00.000	8.0000	10:19:00.000	8.0000
06/11/2014	10:20:00.000	0.0000	10:20:00.000	0.0000	10:20:00.000	0.0000
06/11/2014	10:21:00.000	0.0000	10:21:00.000	0.0000	10:21:00.000	0.0000
06/11/2014	10:22:00.000	0.0000	10:22:00.000	0.0000	10:22:00.000	0.0000
06/11/2014	10:23:00.000	0.0000	10:23:00.000	0.0000	10:23:00.000	0.0000
06/11/2014	10:24:00.000	0.0000	10:24:00.000	0.0000	10:24:00.000	0.0000
06/11/2014	10:25:00.000	163.00	10:25:00.000	163.00	10:25:00.000	163.00
06/11/2014	10:26:00.000	335.00	10:26:00.000	335.00	10:26:00.000	335.00
06/11/2014	10:27:00.000	334.00	10:27:00.000	334.00	10:27:00.000	334.00
06/11/2014	10:28:00.000	333.00	10:28:00.000	333.00	10:28:00.000	333.00
06/11/2014	10:29:00.000	333.00	10:29:00.000	333.00	10:29:00.000	333.00
06/11/2014	10:30:00.000	331.00	10:30:00.000	331.00	10:30:00.000	331.00

Fuente: elaboración propia, con programa Pel103.

Figura 90. Gráfica de THD en voltaje



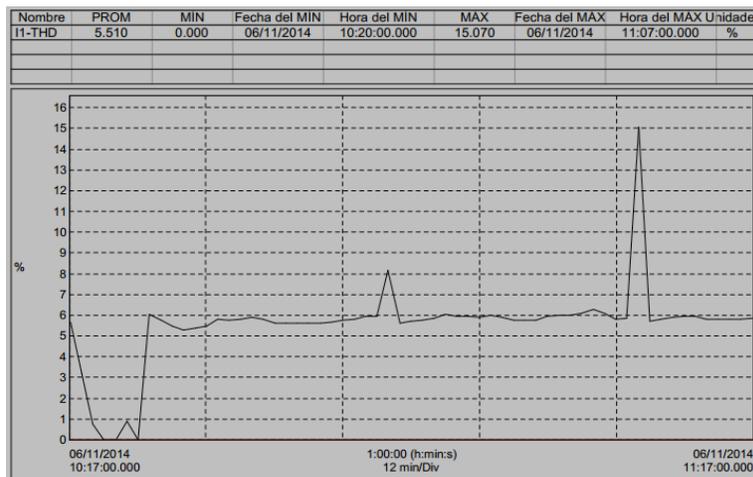
Fuente: elaboración propia, con programa Pel103.

Tabla XXIV. **Valores en porcentaje de THD en voltaje**

06/11/2014 - 10:17:00.000						
Valor						
3.650 — V1-THD (%)						
V1-THD (%)						
Fecha	Hora	PROM	Hora del MIN	MIN	Hora del MAX	MAX
06/11/2014	10:17:00.000	3.6500	10:17:00.000	3.6500	10:17:00.000	3.6500
06/11/2014	10:18:00.000	2.0500	10:18:00.000	2.0500	10:18:00.000	2.0500
06/11/2014	10:19:00.000	0.390	10:19:00.000	0.390	10:19:00.000	0.390
06/11/2014	10:20:00.000	0.0000	10:20:00.000	0.0000	10:20:00.000	0.0000
06/11/2014	10:21:00.000	0.0000	10:21:00.000	0.0000	10:21:00.000	0.0000
06/11/2014	10:22:00.000	2.3400	10:22:00.000	2.3400	10:22:00.000	2.3400
06/11/2014	10:23:00.000	0.0000	10:23:00.000	0.0000	10:23:00.000	0.0000
06/11/2014	10:24:00.000	0.0000	10:24:00.000	0.0000	10:24:00.000	0.0000
06/11/2014	10:25:00.000	1.7200	10:25:00.000	1.7200	10:25:00.000	1.7200
06/11/2014	10:26:00.000	3.2500	10:26:00.000	3.2500	10:26:00.000	3.2500
06/11/2014	10:27:00.000	3.0500	10:27:00.000	3.0500	10:27:00.000	3.0500
06/11/2014	10:28:00.000	2.9100	10:28:00.000	2.9100	10:28:00.000	2.9100
06/11/2014	10:29:00.000	2.9900	10:29:00.000	2.9900	10:29:00.000	2.9900
06/11/2014	10:30:00.000	3.3400	10:30:00.000	3.3400	10:30:00.000	3.3400

Fuente: elaboración propia, con programa Pel103.

Figura 91. **Gráfica de THD en corriente**



Fuente: elaboración propia, con programa Pel103.

Tabla XXV. **Valores en porcentaje de THD en corriente**

06/11/2014 - 10:17:00.000						
Valor						
5.650 — I1-THD (%)						
I1-THD (%)						
Fecha	Hora	PROM	Hora del MÍN	MIN	Hora del MÁX	MAX
06/11/2014	10:17:00.000	5.6500	10:17:00.000	5.6500	10:17:00.000	5.6500
06/11/2014	10:18:00.000	3.1900	10:18:00.000	3.1900	10:18:00.000	3.1900
06/11/2014	10:19:00.000	0.770	10:19:00.000	0.770	10:19:00.000	0.770
06/11/2014	10:20:00.000	0.0000	10:20:00.000	0.0000	10:20:00.000	0.0000
06/11/2014	10:21:00.000	0.0000	10:21:00.000	0.0000	10:21:00.000	0.0000
06/11/2014	10:22:00.000	0.890	10:22:00.000	0.890	10:22:00.000	0.890
06/11/2014	10:23:00.000	0.0000	10:23:00.000	0.0000	10:23:00.000	0.0000
06/11/2014	10:24:00.000	6.0400	10:24:00.000	6.0400	10:24:00.000	6.0400
06/11/2014	10:25:00.000	5.7700	10:25:00.000	5.7700	10:25:00.000	5.7700
06/11/2014	10:26:00.000	5.4600	10:26:00.000	5.4600	10:26:00.000	5.4600
06/11/2014	10:27:00.000	5.3000	10:27:00.000	5.3000	10:27:00.000	5.3000
06/11/2014	10:28:00.000	5.4000	10:28:00.000	5.4000	10:28:00.000	5.4000
06/11/2014	10:29:00.000	5.4900	10:29:00.000	5.4900	10:29:00.000	5.4900
06/11/2014	10:30:00.000	5.8300	10:30:00.000	5.8300	10:30:00.000	5.8300

Fuente: elaboración propia, con programa Pel103.

3.9.3. Conclusiones del estudio

- Se puede observar que los parámetros de thd se encuentran dentro de los valores aceptados.
- El máximo de la distorsión armónica en corriente, registrado operando la iluminación led es de es de 5,83 % este parámetro cumple con la normativa IEEE 519.

- El máximo distorsión armónica en voltaje con la luminarias led es 3.65 este valor cumple con la normativa IEEE 519.
- El factor de potencia en las mediciones realizadas cumple con las NTSD de la CNEE de Guatemala.

3.9.4. Recomendaciones del estudio

- Instalar filtros de armónicos cuando los parámetros estén fuera de la norma en equipos electrónicos de mayor potencia que filtren la 5ta. y 7ma. Armónica en corriente.
- Realizar mediciones de tierra física y verificar que cumplan con la normativa IEEE 80 e IEEE 1100.

CONCLUSIONES

1. Se logró realizar un diseño para la iluminación del edificio de Rectoría utilizando para ello tecnología led RGB, en donde se aprecia que los detalles del edificio como las columnas y líneas rectas resaltan a la vista.
2. Se transmitieron los conceptos básicos de iluminación necesarios para comprender cómo se deben iluminar los diferentes espacios, ya sea interiores o exteriores.
3. Los conceptos más específicos como las curvas polares y las fotometrías de las luminarias fueron explicadas de una manera sencilla y se comprendió la mejor forma de aplicarlo para optimizar una luminaria.
4. Se presentaron conceptos básicos de armónicos con fin de comprender el efecto provocado en la onda senoidal, que por lo general proviene de equipo electrónico como lo son las luminarias led RGB.
5. Se pudo apreciar en las gráficas obtenidas que los parámetros eléctricos y los mismos están dentro de los rangos permitidos, y que los parámetros de THD se encuentran dentro de los valores aceptados con NTSD de la CNEE de Guatemala.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta que el diseño realizado no consideró los recorridos para realizar los entubados para las instalaciones eléctricas y estos se pueden tornar complicados, por lo que la previa observación del instalador puede ser beneficiosa para realizar una instalación rápida y segura.
2. El resultado del análisis de armónicos puede variar debido a la o las marcas que estudien dependiendo de su construcción. El resultado obtenido en este trabajo de graduación es únicamente para luminaria propuesta, específicamente si se realizan instalaciones con una luminaria con características similares, pero de diferente marca se pueden obtener resultados diferentes.
3. Es importante mencionar que los conceptos básicos de iluminación descritos en el capítulo dos se deben tener claros para el diseño de iluminación, considerarlo para obtener los resultados deseados y de ser necesarios reforzarlos con bibliografías o expertos en el tema.
4. Considerar que la selección de la luminaria depende de su análisis fotométrico y no únicamente del precio; esto puede ser perjudicial ya que la electrónica puede producir armónicos que estén fuera de los rangos permitidos por la norma IEEE 519. Se debe de recordar que para este tipo de tecnologías regularmente las de bajo costo tienen la menor cantidad de componentes y seguramente no tiene ninguna protección para mitigar armónicos.

5. Tomar en cuenta que los armónicos en los tiempos modernos se están convirtiendo en una constante y se debe realizar mediciones para no afectar la red en donde se instalarán este tipo de luminarias. Si se tiene la presencia armónica fuera de los rangos permitidos buscar una solución que pueda ser, desde mejorar el sistema de tierras hasta colocar un filtro de armónicos diseñado según las mediciones realizadas.
6. Observar que los equipos electrónicos son generalmente la fuente de armónicos y estos pueden dañar más equipos conectados a la red, que en su momento pueden ser también las luminarias led RGB que se instalaron, por lo tanto se debe evaluar más fuentes de armónicos.
7. Utilizar equipo confiable para tomar las mediciones pues de esto depende que se pueda dar una buena solución si se tuviera un problema de armónicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Diccionario Wordreference en Español.* [en línea]. <<http://www.wordreference.com/definicion/>> [Consulta: 9 de marzo de 2015].
2. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. [en línea]. <<http://sitios.ingenieria-usac.edu.gt/melectrica/>> [Consulta: 10 de febrero de 2015].
3. HOFMANN, Harold. *Cómo planificar con luz.* Alemania: Erco. 2010 p 286.
4. PHILIPS lighting. *Principios básicos de iluminación.* Costa Rica. PHILIPS.2007. p 78.
5. SILVANIA lighting. *Guía de Iluminación Profesional.* Costa Rica: Sylvania.2008. p 105.
6. VELÁSQUEZ, Carlos. *Philips lighting consultant.* p 89.
7. VILA Izabel. *Controles de iluminación.* Costa Rica: 2007. p 56.

APÉNDICE

Unidades Fundamentales:

Todas las demás unidades para expresar magnitudes físicas se pueden derivar de estas unidades básicas y se conocen como unidades derivadas del SI. La derivación se lleva a cabo por medio del análisis dimensional. Se usan prefijos para abreviar números muy grandes o muy pequeños.

Magnitud física que se toma como fundamental	Unidad básica o fundamental	Símbolo
Longitud (l)	Metro	m
Masa (m)	kilogramo	kg
Tiempo (t)	Segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica (I)	Amperio	A
Temperatura (T)	Kelvin	K
Cantidad de sustancia (n)	Mol	mol
Intensidad luminosa (I)	Candela	cd

Intensidad de corriente eléctrica

Unidad: ampere (A)

El **ampere** es la intensidad de una corriente eléctrica constante que, mantenida en dos conductores paralelos de longitud infinita, de sección circular

despreciable y ubicada a una distancia de 1 metro en el vacío, produce una fuerza entre ellos igual a 2×10^{-7} newtons por metro.

Temperatura

Unidad: Kelvin (K)

Cantidad de sustancia

Unidad: mol (mol)

Un **mol** es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kg de carbono 12.

Cuando se usa el mol, las entidades elementales deben ser especificadas y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos específicos de tales partículas.

Intensidad luminosa

Unidad: candela (cd):

Una candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática con frecuencia de 540×10^{12} Hz de forma que la intensidad de radiación emitida, en la dirección indicada, es de 1/683 W por estereorradián.

Unidades Derivadas

Con esta denominación se hace referencia a las unidades utilizadas para expresar magnitudes físicas que son resultado de combinar magnitudes físicas tomadas como fundamentales.

En cualquier caso, siempre es posible establecer una relación entre las unidades derivadas y las básicas o fundamentales mediante las correspondientes ecuaciones dimensionales.

El concepto no debe confundirse con los múltiplos y sub-múltiplos, los que son utilizados tanto en las unidades fundamentales como en las unidades derivadas, sino que debe relacionarse siempre a las magnitudes que se expresan. Si estas son longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura, cantidad de sustancia o intensidad luminosa, se trata de una magnitud fundamental, y todas las demás son derivadas.

Unidades derivadas que tienen nombre propio

Magnitud física	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Expresada en unidades derivadas	Expresada en unidades básicas
Frecuencia	Hertz	Hz		s^{-1}
Fuerza	Newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Presión	Pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energía, Trabajo Calor	Joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Potencia	Watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Carga eléctrica	Coulomb	C		$A \cdot s$
Potencial eléctrico, fuerza electromotriz	Volt	V	$J \cdot C^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Corriente Eléctrica	Ampere	A	$V \cdot A \cdot P$	a
Capacitancia eléctrica	Faraday	F	$C \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Flujo luminoso	lumen	Lm	$cd \cdot sr$	
Illuminancia	Lux	Lx	$cd \cdot sr \cdot m^{-2}$	

