



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

SUSTITUCIÓN DEL ALUMBRADO EXTERIOR DE LA FACULTAD DE
ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN POR ILUMINACIÓN LED

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

PRESENTA:

Angel Esau San Martín Licona

ASESOR:

Ing. Casildo Rodríguez Arciniega

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: **VOTO APROBATORIO**



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
DEPARTAMENTO DE Exámenes Profesionales
Cuaautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Tesis

Sustitución del alumbrado exterior de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por iluminación LED

Que presenta el pasante: ANGEL ESAU SAN MARTÍN LICONA

Con número de cuenta: 41108767-2 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuaautitlán Izcalli, Méx. a 30 de noviembre de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Casildo Rodríguez Arciniega	
VOCAL	Ing. Ángel Isaias Lima Gómez	
SECRETARIO	Ing. Arturo Ávila Vázquez	
1er. SUPLENTE	M.en I. Andrés Alfonso Andrade Vallejo	
2do. SUPLENTE	Ing. Gilberto Chavarría Ortiz	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/nim*

DEDICATORIAS

A mi madre Florencia.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus valores, por la motivación constante, por creer en mí, porque me ha permitido ser una persona de bien, también por ser un ejemplo de ser humano, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Angel.

Por el apoyo que me brindó, sin este no hubiera sido posible alcanzar este momento, o habría sido más difícil, por ser un ejemplo de persona responsable y por enseñarme a ser una persona activa.

A mis hermanos.

Elí, por sus consejos, por siempre preocuparse por mí y porque no descuidara la escuela, por enseñarme con su experiencia, y por siempre motivarme.

Karilú, por apoyarme y escucharme, por brindarme su confianza y por ayudarme en varios momentos.

A mis Familiares.

Tío Marcos y Tío José, por haberme apoyado y brindado su calidez al encontrarme lejos de mi madre y hermanos, siempre estaré agradecido.

A mi Asesor el Ing. Casildo.

Por haber creído en mí, y por apoyarme en este trabajo.

A la Universidad,

Por formarme como profesional y por haber cambiado mi forma de pensar ante muchas situaciones y tener una mejor perspectiva de estas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	/
OBJETIVO	/

CAPITULO 1- El desarrollo histórico de las luminarias	1
1.1. Iluminación con fuego	1
1.2. Lámparas de gas	1
1.3. Lámparas eléctricas	1

CAPITULO 2- Conceptos básicos de iluminación	4
2.1. Teorías sobre la naturaleza de la luz	4
2.1.1. Velocidad de la luz	4
2.1.2. Campo de radiación de la luz	4
2.1.3. Reflexión de la luz	5
2.1.4. Reflexión y transmisión de la luz	5
2.2. Magnitudes luminosas	7
2.2.1. Flujo luminoso	7
2.2.2. Intensidad luminosa	8
2.2.3. Nivel de iluminación	8
2.2.4. Eficacia luminosa	8
2.2.5. Caudal luminoso	9
2.2.6. Brillo (luminancia)	9
2.2.7. Temperatura de color (definición)	9
2.2.8. Índice de reproducción cromática	10
2.2.9. Temperatura de color (índices)	11
2.3. Leyes para las fuentes de luz puntuales	12
2.3.1. Ley del cuadrado de distancia	12
2.4. Nivel de iluminación sobre un plano inclinado a la fuente luminosa	12
2.4.1. Curvas de repartición de la intensidad luminosa	12
2.4.2. Curvas correspondientes a luminarias diversas	13
2.5. Medida del nivel de iluminación	13
2.6. Medida del brillo (luminancia)	13
2.7. Otras magnitudes luminosas	14

2.7.1. Coeficiente de utilización.....	14
2.7.2. Reflectancia.....	14
2.7.3. Absortancia	14
2.7.4. Transmitancia.....	14
2.7.5. Factor de uniformidad media	15
2.7.6. Factor de uniformidad extrema	15
2.7.7. Factor de mantenimiento	15
CAPITULO 3- Clases de lámparas	16
3.1.Sistemas de alumbrado	16
3.2.Rendimiento de las armaduras	18
3.3.Clases de lámparas	19
3.3.1. Lámparas incandescentes	19
3.3.2. Lámparas halógenas o de cuarzo-yodo.....	21
3.3.3. Lámparas fluorescentes	22
3.3.3.1.Lámparas compactas de bajo consumo	24
3.3.4. Lámparas de descarga.....	25
3.3.4.1.Lámparas de vapor de mercurio	26
3.3.5. Lámparas de vapor de sodio	28
3.3.6. Lámparas de iluminación con LEDS	31
3.3.6.1.Fundamentos técnicos de la iluminación LED.....	31
3.3.6.2.Funcionamiento del LED	34
3.3.6.3.Beneficios e inconvenientes que presentan las luminarias LEDS	36
3.3.6.4.Componentes de una luminaria LED.....	38
CAPITULO 4- Iluminación Exterior.....	42
4.1.Requisitos fundamentales.....	42
4.1.1. Clasificación Luminotécnica	42
4.2. Partes que constituyen generalmente a un luminario	43
4.3. Protecciones que utilizan los luminarios	43
4.4. Soportes	46
4.4.1. Clases de postes.....	47
4.4.2. Bloque de cimentación.....	51
4.5. Montajes en suspensión.....	53
4.6. Finalidad y elementos a tomar en consideración	53
4.6.1. Requisitos de las instalaciones	54
4.6.2. Nomenclatura.....	55
4.6.3. Distribución de los puntos de luz	57
4.7. Relación entre los parámetros fundamentales.....	72
4.8. Método de cálculo.....	72
4.8.1. Método del flujo total.....	73
4.8.1.1.Altura de la instalación.....	73

4.8.1.2.Separación entre unidades.....	73
4.8.1.3.Superficie a iluminar	74
4.8.1.4.Flujo luminoso	75
4.8.2. Método punto por punto.....	76
4.8.2.1.Curvas isolux	76
4.8.2.2.Alturas y flujos convencionales	76
4.8.2.3.Aplicación del método punto por punto.....	77
CAPÍTULO 5- Cálculo de iluminación en pasillo de la FESC.....	81
5.1.Calculo teórico con el método del Lumen o del flujo total.....	81
5.2.Calculo de iluminación software Dialux	85
5.3. Ahorro económico de la instalación de alumbrado con luminarias LED en comparación con otro tipo de luminaria.	90
5.3.1. Luminaria LED en comparación con una luminaria Cosmowhite	90
RESULTADOS.....	95
CONCLUSIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	96

INTRODUCCIÓN:

Es de gran importancia la iluminación para el ser humano, sin ella no podríamos desplazarnos casi de ninguna forma en lugares donde no llega la luz solar o en la noche, ni realizar nuestras actividades en el hogar, comercio y la industria, etc. Sin dejar a atrás un aspecto importante como el de la seguridad, esto debido a que si no tenemos una buena iluminación, con pocas fallas y menos lugares oscuros, no podríamos caminar con mucha tranquilidad.

Además necesitamos que esta iluminación sea eficiente y de calidad, y sabemos que para obtenerla es necesario una correcta selección, cálculo e inversión. En esta tesis solo hablaremos de una parte de la iluminación externa (pública, exterior, etc.) y nos enfocaremos en el cálculo únicamente de esta, que será la iluminación en pasillos. Y esta será plasmada de manera teórica para la FES CUAUTITLÁN, sustituyendo el alumbrado por nueva tecnología de luminarias LED en sus pasillos.

En cuanto a la tecnología de luminarias LED, es casi ya tan normal, que en diferentes calles, avenidas, estacionamientos, plazas, parques, incluso en el interior de diferentes lugares se puedan observar instaladas, pero, debemos de conocer las características de estas luminarias para también saber cómo realizar un buen cálculo del área de trabajo.

OBJETIVO:

Recordar los conceptos básicos y las herramientas necesarias para poder abordar el tema de la iluminación, sus aplicaciones y cálculos.

Conocer más a cerca de la nueva tecnología de iluminación LED, de esta manera demostrar y comprobar su calidad, beneficios y desventajas que pueden presentar. También cuáles podrían ser sus aplicaciones.

Debemos también conocer a cerca del funcionamiento y calidad de otras luminarias que ya se han usado por más tiempo, para que de esta manera se pueda tener alguna comparación.

Otro de nuestros objetivos es el conocer a cerca de la iluminación exterior, los tipos de formas de aplicación para calles y pasillos y sus derivaciones únicamente, ya que también como iluminación exterior pueden existir otros, como, fachadas de edificios, campos de futbol, iluminación de albercas etc.

Además, necesitaremos realizar el cálculo del nivel de iluminación necesario, este será indicado teóricamente, será plasmado para el área de trabajo requerido en nuestra sustitución y también se pretenderá corroborarlo por medio de un Software de iluminación, con el cual se tendrá la certeza de que se cumple con la correcta selección de la luminaria a utilizar, y también con el correcto nivel de iluminación, esto será debido a que el programa lo hace por medio del cálculo del método Punto por punto, esto lo hace más efectivo, también tomando en cuenta que únicamente se pretende realizar una comprobación y propuesta teórica.

Finalmente se pretenderá realizar una comparación entre algunas luminarias, donde se involucre costos, comparación de eficiencia, algunos aspectos a tomar en consideración en una instalación.

Capítulo 1 El Desarrollo Histórico de las Luminarias.

1.1. Iluminación con fuego.

Desde los tiempos del hombre de las cavernas, se ha tenido la necesidad de iluminar puesto que al terminar la luz blanca (luz solar o luz del día) era necesaria la iluminación y por tal motivo el descubrimiento y manejo del fuego fue muy importante, siendo la primera fuente de luz que el hombre podía manejar, por supuesto en las fogatas, pero el fuego paso a ser utilizado en antorchas ya que así podía ser llevado a cualquier lugar sin dificultad alguna para poder iluminar diferentes áreas cercanas. De esta manera el fuego fue la primera fuente de iluminación artificial utilizada por el ser humano (el Hombre podía fabricar fuego desde hace 790.000 años pero lo empezó a utilizar desde hace mas de 1 millón de años).

Cuando el ser humano dejo atrás sus instintos animales y se convirtió en Hombre Inteligente comenzó a auto conocerse y analizar lo que sucedía a su alrededor, aproximadamente hace 5000 años empezaron a utilizar candiles usando como combustibles aceites o grasa de origen animal y se metían en recipientes de piedra donde se metía el combustible y una trenza de pelos para utilizarlos como luminaria.

También se utilizaron lámparas de aceite que se encontraban fabricadas en piedra se colocaban en el techo con una cadena esto fue en tiempos de Roma.

1.2. Lámparas de gas.

La primera evolución de la iluminación se dio más tarde con las necesidades de aumentar las jornadas laborales en el año 1790 William Murdoch instaló un sistema de iluminación a gas de hulla para una fábrica en Inglaterra. El inventor alemán Freidrich Winsor fue la primera persona en patentar la iluminación a gas de hulla en 1804 y una termolámpara usando gas destilado de madera se patentó en 1799 se le conoce como el precursor de las instalaciones de alumbrado de gas. Este sistema de alumbrado se adoptó en muchas ciudades de países europeos y americanos pero finalmente fue sustituido por la electricidad durante el siglo XX.

1.3. Lámparas eléctricas

Otto von Guerike de Alemania descubrió que la luz podría ser producida por excitación eléctrica en 1650, No fue sino hasta 1706 que el químico ingles Sir Humphry Davy invento la primera lámpara eléctrica de arco provocando la incandescencia de un hilo fino de platino en el aire al aplicar tensión en sus extremos para que circulara corriente. Basándose en el descubrimiento de Davy, el francés Foucault realizo una lámpara de arco, que por descarga eléctrica entre electrodos de carbón producía luz, William Robert Grove en 1840 encontró que cuando unas tiras de platino y otros metales se calentaban hasta volverse incandescentes, producían luz por un periodo de tiempo. En 1809, uso una batería de 2000 celdas a través de la cual paso electricidad, para producir una llama

de luz brillante, de forma arqueada. De este experimento nació el término "lámpara de arco".

La primera patente para una lámpara incandescente la obtuvo Frederick de Moleyns en 1841, en Inglaterra. Aun cuando esta producía luz por el paso de electricidad entre sus filamentos, era de vida corta. Durante el resto del siglo XIX, muchos científicos trataron de producir lámparas eléctricas.

Finalmente Thomas A. Edison produjo y encendió la primera lámpara incandescente que podía durar hasta dos días encendida, esta estaba constituida de un filamento de carbón y su exhibición fue el 27 de octubre de 1879.

En 1850 Heinrich Geissler, un físico alemán invento el tubo Geissler por medio del cual demostró la producción de luz por medio de una descarga eléctrica a través de gases nobles Jhon T. way demostró el primer arco de mercurio en 1860.

Los tubos se usaron inicialmente solo para los experimentos. Utilizando los tubos Geissler, Daniel McFarlan Moore entre 1891 y 1904 introdujeron nitrógeno para producir una luz amarilla y bióxido de carbón para producir luz rosado-blanco, color que aproxima a la luz del día. Estas lámparas eran ideales para comparar colores. La primera instalación comercial con los tubos Moore, se hizo en un almacén de Newark, N.J., durante 1904. El tubo Moore era difícil de instalar, reparar, y mantener. Peter Moore Hewitt comercializó una lámpara de mercurio 1901, con una eficiencia que dos o tres veces mayor que la de la lámpara incandescente. Su limitación principal era que su luz carecía totalmente de rojo. La introducción de otros gases fracaso en la producción de un mejor balance del color, hasta Hewitt ideó una pantalla fluorescente que convertía parte de la luz verde, azul y amarilla en rojo, mejorando así el color de la luz. Peter Moore Hewitt coloco su primera instalación en las oficinas del New York Post en 1903. Debido a su luz uniforme y sin deslumbramiento, la lámpara fluorescente inmediatamente encontró aceptación en Norteamérica.

En 1931 se desarrolló la lámpara de alta presión de sodio en Europa y a pesar de su alta eficiencia no resulto buena para el alumbrado de interiores debido al color amarillo de su luz y se empezó a utilizar en alumbrado exterior o público donde su color no se considera crítico.

En 1930 se desarrolló en Francia y Alemania las primeras lámparas fluorescentes y se empezaron a mejorar en 1934 en los estados unidos obteniendo así una mejor eficiencia y bajo consumo eléctrico aparte de su variedad de colores.

En 1907 el inglés Henry Joseph descubre que los materiales inorgánicos pueden iluminarse, si se les aplica una corriente eléctrica, en el mismo año publica su descubrimiento en la publicación especializada "Electrical World". Sin embargo debido

a que trabaja en un nuevo sistema de radiogoniometría para el transporte marítimo, este descubrimiento cae en el olvido.

En 1921 el físico ruso Oleg Lossev observa de nuevo el “efecto Round” de la emisión de luz. En los años que sucede, 1927 1942 examina y describe este fenómeno con más detalle.

En 1935 el físico francés Georges Destriau descubre la emisión de luz en sulfuro de cinc. En honor al científico ruso denomina al mencionado efecto “Luz Lossev”. Hoy en día Georges Distriau es denominado el inventor de la electroluminiscencia.

En 1951 el desarrollo de un transistor marca un hito científico en la física de semiconductores, ya es posible explicar la emisión de luz.

En 1962 el primer diodo luminiscente rojo (tipo GaAsp) desarrollado por el estadounidense Nick Holoyank, es lanzado al mercado. Este primer LED en el área de la longitud de onda visible, maraca el nacimiento del LED de producción industrial.

En 1971 como resultado del desarrollo de los nuevos materiales semiconductores, los LED se producen en nuevos colores: verde, amarillo y naranja, el rendimiento y la efectividad del LED continúa mejorando.

En 1993 el japonés Shuji Nakamura desarrolla el primer LED azul brillante, así como un LED muy eficiente en la gama de espectro verde, (diodo InGaN), posteriormente diseña también un LED blanco.

En 1995 se presenta el primer LED de luz blanca de conversión luminiscente y se lanza al mercado dos años después.

En 2006 se presentan los primeros Diodos Emisores de Luz con 100 lúmenes por watt, esta eficiencia solo puede ser superada por las lámparas de descarga de gas.

En 2010 ya se están desarrollando LED de colores determinados con una enorme eficiencia luminosa de 250 lúmenes por watt, en condiciones de laboratorio. El progreso sigue su avance, hoy en día el desarrollo posterior al OLED se considera tecnología del futuro.

Capítulo 2 Conceptos básicos de la iluminación.

2.1. Teorías sobre la naturaleza de la luz

a) Teoría de Newton

En 1670 Newton afirmaba que la luz tenía naturaleza corpuscular y, por tanto, que el foco luminoso era un emisor de corpúsculos de luz perfectamente elásticos en su aspecto mecánico, que se desplazaba en línea recta y a gran velocidad.

b) Teoría ondulatoria

La teoría ondulatoria de Huygens y otros físicos considera que la luz se propaga en un movimiento vibratorio en un medio como es el éter.

La teoría ondulatoria puede aplicarse también a fenómenos caloríficos

2.1.1. Velocidad de la luz

Tras diferentes métodos de medición, el físico Michelson determinó en 1926 la velocidad a la que se desplazaba la luz, que es de 300 000 km/s.

2.1.2. Campo de radiación de la luz.

Las radiaciones se clasifican en función de su longitud de onda, tal como se presenta en la tabla 2.1 que se representa a continuación.

Longitud de onda, en nm.			
10^{-5}	Radiación Cósmica	380	VIOLETA
10^{-3}	Radiación	450	AZUL
10	Radiación	500	VERDE
400	Radiación	570	AMARILLO
760	Luz Visible	590	NARANJA
$4 - 10^5$	Radiación Infrarroja	610	ROJO
10^9 a $15 - 10^{11}$	Ondas hertzianas	760	VERDE
$15 - 10^{11}$	Bajas frecuencias		

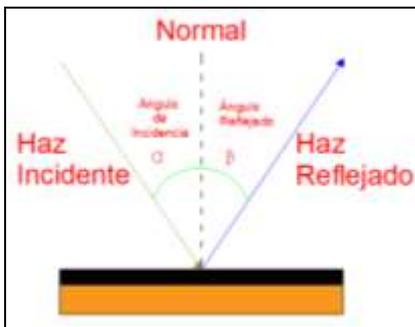
Tabla 2.1 Longitud de onda de los colores.

.1 nm (nanómetro) = $10^{-9} m = 0.000\ 000\ 000\ 1 m$
 AMARILLO
 NARANJA
 ROJO

2.1.3. Reflexión de la luz

Al incidir los rayos de luz sobre una superficie pulimentada de un metal, puede cambiar su dirección al reflejarse. Los espejos están contruidos para reflejar la luz que incide sobre los mismos, dependiendo de su construcción, será el ángulo en que se refleja el rayo luminoso.

1. En un plano



El rayo oblicuo que llega al espejo se refleja con el mismo ángulo, que es opuesto a la perpendicular sobre el plano del espejo.

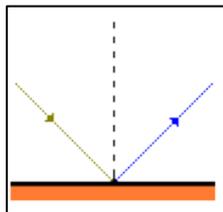
$$\alpha = \beta$$

Figura 2.1 Reflexión de la luz.

2.1.4. Reflexión y transmisión de la luz

a) Reflexión regular

El haz reflejado forma con la normal a la superficie, el mismo ángulo que el haz incidente con dicha normal.

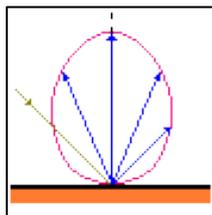


Reflexión que se presenta en superficies de metales pulidos, en las superficies de los líquidos.

Figura 2.2 Reflexión regular.

b) Reflexión difusa

El haz incidente sobre la superficie se refleja en todas las direcciones, siendo el rayo normal a la superficie el de mayor intensidad.

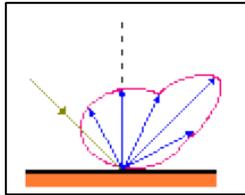


Reflexión que se presenta en superficies mates, nieve, papel, etc.

Figura 2.3 Reflexión difusa

c) Reflexión mixta

Reflexión intermedia entre regular y difusa, en la que parte del haz incidente se refleja y parte se difunde.



Reflexión que presentan los metales no pulidos, papel brillante, superficies barnizadas, etc.

Figura 2.4 Reflexión intermedia (mixta).

Transmisión de la luz

Existen tres tipos de transmisión de la luz

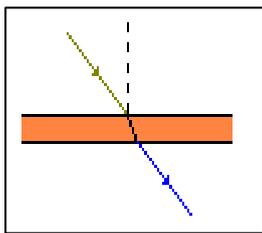


Figura 2.5 Transmisión regular

a) Transmisión regular

Cristal, vidrio orgánico empleados en cierres de luminarias. Permiten ver con nitidez los objetos colocados detrás.

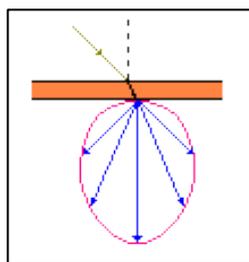


Figura 2.6 Transmisión difusa

b) Transmisión difusa

Utilizados como difusores del haz de luz. Proporcionan una iluminación más agradable. Visión difusa de los objetos que se colocan detrás.

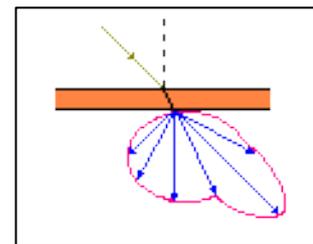


Figura 2.7 Transmisión mixta

c) Transmisión mixta

Transmisión media entre difusa y regular de vidrios orgánicos y cristales de superficie labrada. Utilizados en cierre de refractores de las armaduras de alumbrado.

2.2. Magnitudes luminosas

2.2.1. Flujo luminoso

a) Flujo luminoso sobre una superficie

Cantidad de energía radiante que incide sobre una superficie en la unidad de tiempo.

b) Flujo luminoso total de un foco

Cantidad de energía radiante que emite un foco de luz en la unidad del tiempo.

La medida del flujo luminoso se realiza en el laboratorio por medio de un fotoelemento ajustado según la curva de sensibilidad fotopica del ojo a las radiaciones monocromáticas incorporadas a una esfera hueca a la que se le da el nombre de Esfera de Ulbricht en cuyo interior se coloca la fuente a medir.



Figura 2.8 Esfera de Ulbricht.

La unidad de flujo luminoso, tanto que sea proveniente de un foco, como el que incide sobre una superficie, es el lumen (lm).

Ejemplo una lámpara de incandescencia de 100 W emite un flujo luminoso de 1.380 lumen (lm).

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$$

cd- Candela.

sr- Estereorradián.

Un lumen corresponde al flujo luminoso emitido por un ángulo sólido de un estereorradián por una fuente puntual uniforme, situada en el vértice del ángulo sólido y de intensidad luminosa de una candela.

$$\Phi = \frac{Q}{t} \text{ (lm)}$$

Q- Cantidad de energía radiante

t- Tiempo unidad

2.2.2. Intensidad luminosa (I)

Se denomina intensidad de un foco en la dirección determinada al flujo emitido en el interior de la unidad de ángulo sólido en dicha dirección.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \text{ (cd)}$$

Φ – Flujo luminoso.

ω – ángulo sólido ($\omega = s/r^2$)

Una candela (cd) corresponde a la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una superficie, emitida por un rayo monocromático de frecuencia igual a $540 \cdot 10^{12}$ hertzios y donde la intensidad de energía en esta dirección es de 1/680 W por estereorradián.

2.2.3. Nivel de iluminación (E)

En la iluminación de una superficie, el flujo que recibe la unidad de área de superficie considerada.

$$E = \frac{\Phi}{S} \text{ (lx)}$$

Φ – Flujo luminoso (lm).

E – Iluminación, en (lx).

S – Superficie, en (m^2).

2.2.4. Eficacia luminosa

La eficacia luminosa o rendimiento luminoso de un foco de luz, corresponde al cociente entre el flujo emitido en lumen y la potencia que lo genera en watts y se da en lm/W.

La fórmula que expresa la eficacia luminosa es:

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

2.2.5. Caudal luminoso (Q)

Cantidad de luz emitida por un foco de luz por unidad de tiempo

$$Q = \phi \cdot t \text{ (lm} \cdot \text{h)}$$

2.2.6. Brillo (luminancia)

Brillo o luminancia que corresponde a la intensidad luminosa (I) emitida por una superficie reflectora (que no es el foco de luz)

El brillo se mide en candelas/ m^2 (cd/ m^2) o candelas/ cm^2 (cd/ cm^2).

Ni t= cd/ m^2

Stilb = cd/ cm^2

$$B = \frac{I}{S \cdot \cos \beta}$$

2.2.7. Temperatura del color (K)

A la tonalidad emitida por las lámparas se denominada temperatura de color y se mide en grados Kelvin (K).

Se distinguen dos tipos de tonalidad, que son:

a) Luz fría

En la que predominan las radiaciones visibles de color azul, verde, etc., tienen buen índice de reproducción cromática.

La luz fría se utiliza para iluminar ambientes, locales y lugares en los que hay o se desarrolla gran actividad.

b) Luz cálida

La luz cálida se utiliza para iluminar ambientes y salas en las que se busca el confort.

c) Luz de día

La denominada como luz día o blanca corresponde a una emisión que se asemeja en calidad cromática a la que emite la luz solar en verano, al mediodía y a la altura de nuestra latitud Temperatura de diferentes fuentes luminosas.

2.2.8. Índice de reproducción cromático (IRC)

Grado de calidad que poseen fuentes luminosas de reproducir los colores.

La norma DIN establece que a la reproducción óptima del color le corresponde el índice 100.

Clasificación de los niveles de reproducción:

Índice de reproducción cromático IRC	Temperatura de color (K)
85 a 100	Excelente
70 a 84	Bueno
40 a 69	Aceptable
< 40	Limitado

Tabla 2.2 Niveles de reproducción cromática

Clasificación de las alamparas por su índice de reproducción cromático (IRC) o (CRI)



Figura 2.9 Índice de reproducción cromática de algunas lámparas

El índice de reproducción cromática “Ra” expresa la capacidad de una fuente luminosa de reproducir los colores con mayor o menor fidelidad. La capacidad depende de la distribución espectral de la propia fuente de luz.

Las Normas especifican el nivel de reproducción cromática (calidad de luz que debe tener como mínimo cada puesto de trabajo).

2.2.9. Temperatura de color

La temperatura del color es una expresión que se emplea para indicar el color de una fuente de luz por comparación de esta con el color del cuerpo negro, es decir, del radiante perfecto teórico. Al igual que un cuerpo incandescente, el cuerpo negro cambia de color a medida que aumenta su temperatura, tomando en un principio el tono rojo sin brillo, para luego pasar por el rojo claro, naranja, amarillo y blanco, blanco azulado y azul.

La llama de una vela, es similar a un cuerpo negro calentado a 1.800 k.

Índices de temperatura del color:

Color	Temperatura
Llama de una vela	1800 K
Lámpara de incandescencia (servicio general)	2500 a 3050 K
Lámparas de incandescencia (luz día 500 W)	4000 K
Lámpara fotográfica	3400 K
Lámparas fluorescentes:	
• Blanco cálido	3000 K
• Blanco	3500 K
• Blanca fría	4500 K
• Luz de día	6500 K
Luz solar al medio día	5250 K
Cielo nublado	7000 K
Cielo azul	10000 a 30000 K

Tabla 2.3 Temperatura de color en K

La temperatura del color no es en realidad una medida de temperatura. Define solamente el color y es aplicada a fuentes de luz que tengan una gran semejanza de color con el cuerpo negro.

2.3. Leyes para las fuentes de luz puntuales

2.3.1. Ley del cuadrado de distancia

El alumbrado de una superficie por una fuente luminosa es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente de luz y la superficie considerada.

La intensidad luminosa disminuye inversamente con el cuadrado de la distancia.

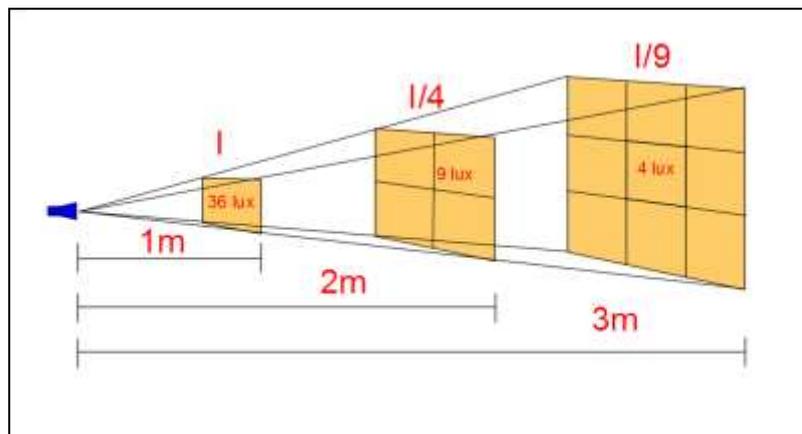


Figura 2.10 Ley de la inversa de los cuadrados.

Ejemplo: E = Iluminación en (lx); Φ = Flujo Luminoso; d = distancia en metros

$$E = \frac{\Phi}{d^2} = \frac{36 \text{ lm}}{1^2} = 36; E = \frac{36 \text{ lm}}{2^2} = 9; E = \frac{36 \text{ lm}}{3^2} = 4$$

2.4. Nivel de iluminación sobre un plano inclinado a la fuente luminosa

En el caso anterior la superficie estaba situada perpendicularmente a la dirección de los rayos luminosos, pero cuando forma con ésta un determinado ángulo α , la fórmula de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia hay que multiplicarla por el coseno del ángulo correspondiente cuya expresión constituye la llamada ley del coseno, que se expresa como:

$$E = \frac{\Phi}{d^2} \cos \alpha$$

2.4.1. Curvas de repartición de la intensidad luminosa.

Los fabricantes de lámparas proporcionan las curvas de intensidad luminosa de las luminarias que fabrican. Las curvas fotométricas muestran la repartición del flujo luminoso considerando el plano o ejes de simetría (plano longitudinal y plano transversal).

2.4.2. Curvas correspondientes a luminarias diversas

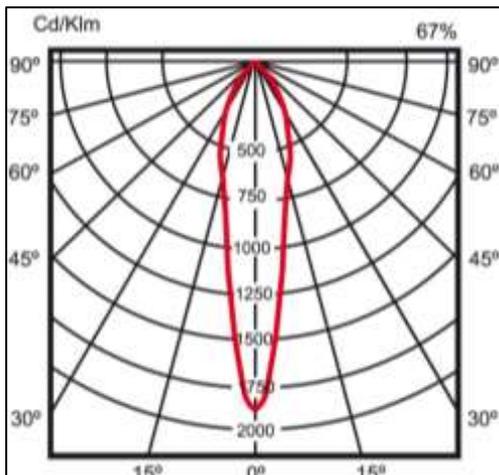


Figura 2.11 Distribución concentrada

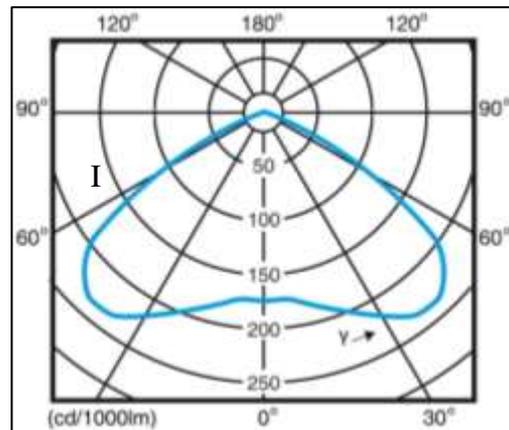


Figura 2.12 Distribución en haz abierto

2.5. Medida del nivel de iluminación

La medida del nivel de iluminación se realiza por medio de un aparato especial denominado luxómetro, que consiste en una célula fotoeléctrica que al incidir la luz sobre su superficie, genera una débil corriente eléctrica que aumenta en función de la luz incidente. Dicha corriente se mide con un miliamperímetro de forma analógica o digital, calibrado directamente en lux.



Figura 2.13 Luxómetro

Medida del brillo (luminancia) La medida de la luminancia se realiza por medio de un aparato especial llamado luminancímetro o nitómetro se basa en dos sistemas ópticos, uno de dirección y otro de medición.



Figura 2.14 Luminancímetro

2.6. Otras magnitudes luminosas

2.7.1. Coeficiente de utilización

Relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por una fuente luminosa.

Unidad- %

Símbolo- η

$$\text{Relación- } \eta = \frac{\phi}{\phi_e}$$

2.7.2. Reflectancia

Relación entre el flujo reflejado por un cuerpo (con o sin difusión) y el flujo recibido.

Unidad- %

Símbolo- ρ

$$\text{Relación- } \rho = \frac{\phi_r}{\phi}$$

2.7.3. Absortancia

Relación entre el flujo luminoso absorbido por un cuerpo y el flujo recibido.

Unidad- %

Símbolo- α

$$\text{Relación- } \alpha = \frac{\phi_a}{\phi}$$

2.7.4. Transmitancia

Relación entre el flujo luminoso transmitido por un cuerpo y el flujo recibido.

Unidad- %

Símbolo- t

$$\text{Relación- } t = \frac{\phi_t}{\phi}$$

2.7.5. Factor de uniformidad media

Relación entre la iluminación mínima y la media, de una instalación de alumbrado.

Unidad- %

Símbolo- U_m

Relación- $U_m = \frac{E_{min}}{E_m}$

2.7.6. Factor de uniformidad extrema

Relación entre la iluminación mínima y máxima, de una instalación de alumbrado.

Unidad- %

Símbolo- U_e

Relación- $U_e = \frac{E_{min}}{E_{max}}$

2.7.7. Factor de mantenimiento

Coefficiente que indica el grado de conservación de una instalación

Unidad- %

Símbolo- F_m

Relación- $F_m = F_{pl} \cdot F_{al} \cdot F_t \cdot F_e \cdot F_c$

$F_{pl} = \text{factor posición lámpara}$

$F_{al} = \text{factor depreciación lámpara}$

$F_t = \text{factor temperatura}$

$F_e = \text{factor equipo auxiliar}$

$F_c = \text{factor conservación de la instalación}$

Capítulo 3 Clases de lámparas

3.1. Sistemas de alumbrado

Las lámparas de alumbrado suelen emplearse montadas sobre armaduras o pantallas, provistas de sistemas de difusión y transmisión de muy diversas formas, según cuál sea el tipo de alumbrado deseado. De acuerdo con esto podemos clasificar los sistemas de alumbrado según el modo de distribución de la luz que posean sus pantallas. Estos sistemas están normalizados internacionalmente y son los que se resumen en el siguiente esquema.



Figura 3.1 Clasificación de sistemas de alumbrado.

A continuación y de forma resumida, describiremos las distintas partes que componen una armadura o pantalla de alumbrado, que además de sus características deben cumplir otras de tipo práctico, como son: resistencia, fácil montaje, fácil recambio de lámparas y accesorios, protección contra la entrada de polvo y agua, etc. En la figura siguiente vemos algunos tipos de armaduras industriales, muy utilizadas hoy en día.



Figura 3.2 Armaduras de algunas luminarias

Luminaria: aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas, y que contiene por lo menos todos los accesorios para fijar, sostener y conectar al circuito de alimentación. Algunos tipos de luminarias, empleados en el alumbrado de exteriores, se denominan proyectores.

Reflector: dispositivo que sirve para modificar el reparto espacial del flujo luminoso de una fuente de luz, utilizando esencialmente el fenómeno de reflexión.

Difusor: dispositivo que sirve para modificar el reparto espacial del flujo luminoso de una fuente de luz, utilizando el fenómeno de difusión.

Pantalla: protección que impide la visión directa de las lámparas, y que pueden actuar incluso como difusores.

Pantalla antideslumbrante: Protección parecida a la anterior, pero que impide la visión de las lámparas desde un ángulo determinado. Puede estar constituida por elementos translucidos u opacos.

Vidrio de protección: Parte de una luminaria destinada a protegerla contra la entrada de polvo, agua, vapores o gases, pero sin función óptica alguna.

Rejilla de protección: Elemento que protege una lámpara o luminaria mecánicamente, generalmente contra golpes.

Difusor de rejilla: Dispositivo que hace las veces de pantalla antideslumbrante y difusor, aumentando el confort visual.

3.2. Rendimiento de las armaduras

Todas las partes anteriormente descritas, contribuyen a definir el rendimiento de una armadura o pantalla de alumbrado, ya sea para alumbrado de interior o de exterior.

El rendimiento de una armadura o pantalla de alumbrado, podemos definirlo como la relación que existe entre el flujo luminoso entregado por ella y el flujo luminoso primario, producido por las lámparas que contiene.

El rendimiento luminoso (η_L) no tiene dimensiones y se puede expresar como una fracción decimal o como un tanto por ciento ($\eta_L \leq 100\%$) y es un dato aportado por el fabricante.

Cuanto mayor sea el ángulo de apertura de una luminaria, tanto mayor será el flujo luminoso libre, que no incide sobre el reflector y, por tanto, será menor la pérdida de luz. Por tanto, podemos decir que el rendimiento aumentará al ampliar el ángulo de apertura. A continuación en la tabla siguiente, resumiremos el rendimiento luminoso, aproximado que tienen algunas de las luminarias más utilizadas.

Tipo de luminaria	Rendimiento (η_L)
Luminaria para un solo tubo fluorescente, en forma de tira, abierta completamente.	0.92
Armadura para un solo tubo fluorescente, con vidrio lateral y rejilla inferior.	0.85
Armadura para dos tubos fluorescentes, cerrada exteriormente y con rejilla inferior.	0.70
Armadura de dos tubos fluorescentes, recubierta totalmente de vidrio o plástico.	0.60
Luminaria de exteriores, con sistema óptico cerrado y lámpara de vapor de sodio alta presión.	0.70

Tabla 3.1 Rendimiento de algunos tipos de luminarias.

3.3. Clases de lámparas

Si analizamos la procedencia de la luz, o en otras palabras, su forma de generación, podemos clasificar las lámparas actualmente utilizadas en tres tipos:

- Lámparas de incandescencia.
- Lámparas fluorescentes.
- Lámparas de descarga, en vapores o gases.
- Lámparas de iluminación Led.

Aunque las lámparas fluorescentes también son de descarga, siempre se consideran como un tipo muy particular de las mismas, debido tanto a su peculiar funcionamiento como a su extendida utilización.

A continuación describiremos la construcción, funcionamiento e instalación de las más utilizadas, tanto para uso doméstico como industrial.

3.3.1. Lámparas incandescentes

Este tipo de lámpara, denominada también bombilla, fue la primera que se conoció, ya que fue inventada por Thomas Alva Edison, en 1879. Se denomina así por estar formada por un filamento de tungsteno que se pone incandescente al paso de la corriente eléctrica, emitiendo luz. Para que el filamento no se quemara debido a las altas temperaturas que ha de alcanzar, se coloca dentro de una ampolla o bulbo de cristal en el que se ha hecho el vacío o llenado de un gas inerte.

En la siguiente figura se muestra la construcción más normal de una de estas lámparas, así como los tipos de casquillos de acoplamiento o de conexión más utilizada.

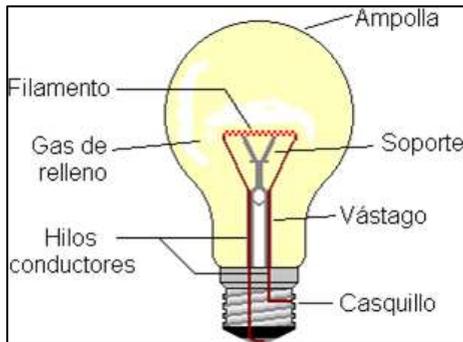


Figura 3.3 Lámpara incandescente

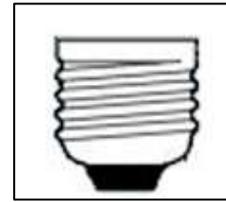


Figura 3.4 Casquillo Roscado



Figura 3.5 Casquillo Bayoneta

Los casquillos de las lámparas son la parte que permite una fácil conexión a la red al ser introducidos fácilmente en los elementos de la instalación eléctrica llamados portalámparas, para su posterior sustitución. Los casquillos más comunes suelen ser a rosca, o bien, se pueden encajar por medio de unos tetones, recibiendo el nombre de casquillos bayoneta.

Las lámparas incandescentes se fabrican de muchos tamaños y formas, unas con la ampolla de vidrio transparente, otras translucido, incluso algunas con reflector incorporado, según el uso a que vayan destinadas, algunas de las cuales vemos en la siguiente figura.



Figura 3.6 Tamaños y formas de lámparas incandescentes

Las características principales de todas las lámparas, ya sean incandescentes o de otro tipo, son su tensión, expresada en V, y su potencia, expresada en W. la vida media de las lámparas incandescentes está entre las 1000 y 2000 horas, y son las de menor rendimiento lumínico, entre 9 y 16 lm/W.

3.3.2. Lámparas halógenas o de cuarzo-yodo

Estas son una variante de las lámparas incandescentes; constan de una pequeña ampolla de cuarzo transparente para que resistan más altas temperaturas que el vidrio, pudiéndose fabricar de menor tamaño que las incandescentes normales, en cuyo interior lleva un filamento de tungsteno, bien sea colocado longitudinalmente o de otra forma; la ampolla está llena de gas argón y pequeñas partículas de yodo. Cada extremo del filamento se une finalmente a casquillos de tipo cerámico, generalmente.

En la siguiente figura se ven algunas de los tipos de lámparas alógenas más utilizadas. Actualmente, este tipo de lámparas se emplea mucho en alumbrados decorativos, domésticos y en aparatos de proyección.

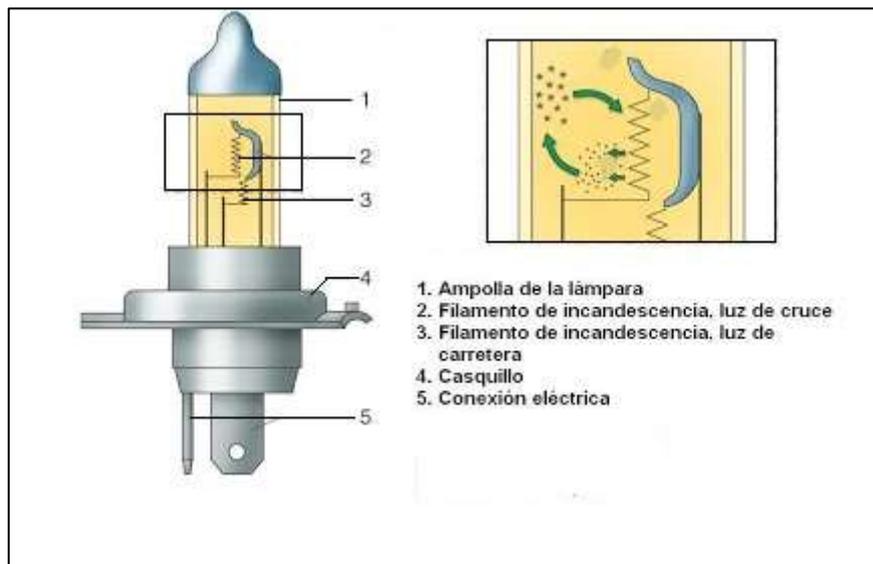


Figura 3.7 Lámpara halógena.

Al conectar la lámpara a la red de alimentación, el filamento llega a calentarse tanto que se volatilizan algunas partículas del filamento de tungsteno, pero como a su vez el yodo se gasifica, resulta que se forma un compuesto con el tungsteno volatilizado, el cual, al tomar contacto con el filamento a tan alta temperatura se disocia, depositando de nuevo las partículas volatilizadas de tungsteno sobre el filamento, con lo cual se regenera constantemente. De esta forma se alarga la vida de la lámpara, además de otras ventajas que tienen estas con respecto a las incandescentes y que resumimos a continuación:

- Su rendimiento es mayor, entre 18 y 20 lm/W, y su vida puede superar las 2000 horas, gracias a la regeneración de su filamento.
- La ampolla apenas se ennegrece, puesto que no se deposita el tungsteno sobre sus paredes, conservando siempre la misma luminosidad.
- Sus dimensiones son más pequeñas, por lo cual permiten concentrar mejor el flujo luminoso sobre una zona.

Para su manipulación hay que tener en cuenta que la ampolla de cuarzo se desvitrifica a causa de las manchas de grasa que pueden dejar las manos al tocarla, acortando así su vida, por lo cual deben cogerse siempre con un paño o papel, o en caso contrario limpiarlas con alcohol.

Su posición de trabajo es muy importante para la mejor regeneración del filamento, que debe ser, siempre que sea posible, horizontal. Lo mejor es seguir las indicaciones de utilización del fabricante.

Existen algunas lámparas halógenas llamadas de doble envoltura, debido a que por encima de la ampolla de cuarzo llevan otra de vidrio, para facilitar su manipulación; incluso se construyen con casquillos de rosca o de bayoneta, para que se pueda emplear como lámparas normales. Por lo general, estas lámparas de doble envoltura pueden funcionar en cualquier posición.

3.3.3. Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son fuentes luminosas, que utilizan las radiaciones energéticas producidas por los electrones en movimiento a través de vapor de mercurio para producir luz. Podemos considerar los tubos fluorescentes como lámparas de descarga en vapor de mercurio a baja presión, en contra posición a las de vapor de mercurio a alta presión (mayor de una atm).

Una lámpara fluorescente está formada por un tubo de vidrio, recubierto interiormente de una sustancia fluorescente y dos pequeños filamentos de tungsteno, recubiertos a su vez de óxidos de calcio, estroncio y bario generalmente, situados uno en cada extremo del tubo tal como se ve en la siguiente figura, el tubo está relleno de un gas inerte, generalmente gas argón, conteniendo además una pequeña cantidad de vapor de mercurio, que es conductor; este al enfriarse puede aparecer en forma de pequeñas gotas.

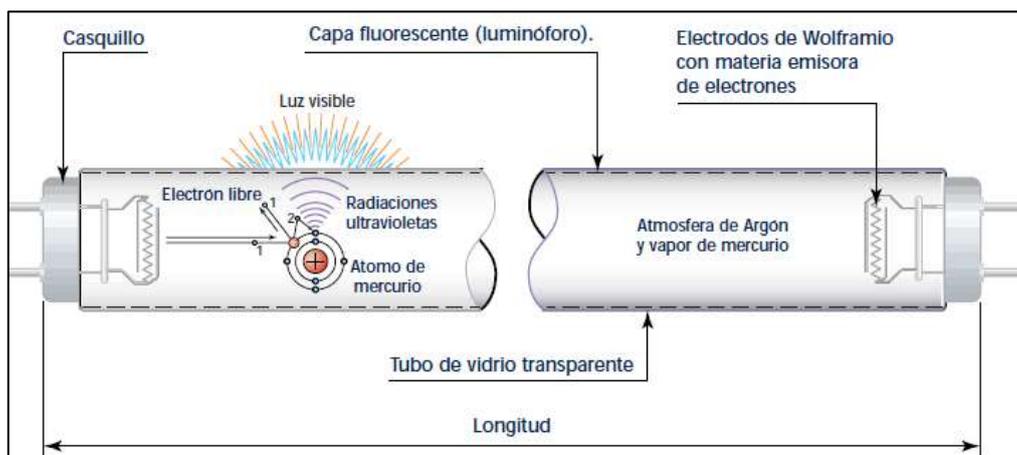


Figura 3.8 Funcionamiento de un tubo fluorescente.

Los filamentos están rodeados por un anillo metálico, encargado de dirigir el flujo de electrones longitudinalmente, y los óxidos que recubren los filamentos son sustancias que desprenden fácilmente electrones al ser calentadas.

Su funcionamiento es el siguiente: al calentarse los dos filamentos, debido al paso de una corriente eléctrica, por un lado se vaporiza el mercurio y los filamentos empiezan a emitir electrones. Los electrones al desplazarse chocan contra los átomos de mercurio, haciendo saltar sus electrones periféricos, desprendiéndose de este modo una energía, en forma de radiaciones ultravioletas que son invisibles al ojo humano.

Estas radiaciones invisibles chocan contra las sustancias fluorescentes que recubren el tubo interiormente, transformándose así en las radiaciones visibles que vemos emitir al tubo.

Según cuales sean las sustancias o mezclas fluorescentes que recubran al tubo, el tubo emitirá un color de luz u otro; en la práctica, existen lámparas fluorescentes que emiten desde luz negra hasta la llamada luz de día, por su parecido con la luz natural (del sol).

En la siguiente tabla se muestra la relación de algunas sustancias con el tipo de luz que emiten.

Substancias	Color de luz
Silicato de cinc	Verde
Tungtenato de calcio	Azul
Burato de cadmio	Rosa
Berilio y silicato de cinc	Blanco
Tungtenato de magnesio	Luz de día

Tabla 3.2 Substancias que componen el color en luminarias fluorescentes

El rendimiento de los tubos fluorescentes es casi cuatro veces superior que las lámparas incandescentes, entre 40 y 50 lm/W; otra ventaja muy importante es que podemos considerarlos como fuentes de luz fría, ya que sus filamentos desprenden muy poco calor.



Figura 3.9 Formas de tubos fluorescentes de diferentes lámparas.

La forma y el diámetro de los tubos fluorescentes puede ser muy diversa, tal como vemos en la figura anterior estos pueden ser rectos, circulares, en forma de U o de doble W, o bien en formas caprichosas, como las empleadas muchas veces en decoración.

3.3.3.1. Lámparas compactas de bajo consumo

Con este nombre se fabrican lámparas con potencias de 5 a 60 W, de diversas formas y longitudes que son de uso doméstico e industrial. La mayor parte de las veces se fabrican con casquillo E27, para ser acoplado a los portalámparas normales. Se clasifican según su equipo de arranque, forma compacta:



Figura 3.10 Lámparas de 2 o 4 patillas

Figura 3.11 Lámparas compactas integrales.

a) Lámpara compactas integrales de casquillo.

Se fabrican con casquillo E27, Edison, incluye en su base equipo convencional de encendido (reactancia y cebador) o a veces con equipo electrónico de arranque. Algunas se construyen con una ampolla exterior de vidrio, rayado o esmerilado, e incluso con un reflector incorporado.

b) Lámpara compacta integrales con dos patillas

Esta es similar a la anterior solo que en vez de casquillo roscado tiene un conector de dos patillas para introducirlo en un zócalo de conexión apropiado.

c) Lámpara compacta, sin equipo de arranque y cuatro patillas

Esta lámpara no tiene equipo de arranque, por lo que necesita un equipo externo para ello, tiene un conector de cuatro patillas como cualquier tubo fluorescente.

d) Lámparas compactas con cebador incorporado y dos patillas

Este tipo de lámparas tiene en su base un cebador pero necesita una reactancia externa, y tiene dos patillas como conector.

3.3.4. Lámparas de descarga

Se les denomina así porque el flujo de la corriente pasa a través de un gas o vapor. Las lámparas fluorescentes son ya lámparas de descarga pero como la presión que tienen es inferior a una atmósfera, se reserva el nombre para las lámparas, cuya presión de gas es superior a 1 atmósfera (algunas veces llegan hasta 70 atm).

La lámpara de descarga está constituida por una ampolla de vidrio o cuarzo y varios electrodos, contiene gas de la descarga, puede ser: neón, nitrógeno, helio, argón, etc. También puede tener una pequeña cantidad de metal, que una vez gasificado, produce la descarga, como es el caso del mercurio y el sodio.

De igual forma que las lámparas fluorescentes, una vez encendidas es necesario estabilizar la corriente, haciéndolo de diferentes formas según cual sea el tipo de lámparas usando: reactancias, transformadores, etc.

Algunas lámparas de descarga necesitan aparatos auxiliares de encendido que provoquen sobretensión que inicie la descarga, adaptados a ellas y denominados arrancadores o aparatos de encendido.

Se puede decir que según el tipo y la potencia se usaran el arrancador y estabilizador, se debe realizar la instalación de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Por el uso de los estabilizadores (reactancias, transformadores), se produce un gran desfase entre la corriente y el voltaje, originando un factor de potencia de aproximadamente 0.5 ($\cos\theta = 0.5$) por lo cual es necesario compensarlo generalmente con un capacitor conectado en paralelo con la lámpara.

Tipos de lámparas de descarga más utilizados hoy en día:

- a) Lámparas de vapor de mercurio
 - Sin corrección de color
 - Con color corregido
 - Con yoduros metálicos
- b) Lámpara de luz mezcla
- c) Lámparas de vapor de sodio:
 - De baja presión
 - De alta presión

3.3.4.1. Lámparas de vapor de mercurio

Este tipo de lámpara emplea para la descarga mercurio (Hg) y para facilitar el encendido una pequeña cantidad de gas argón.

Existen tres tipos que son:

- ✓ Lámparas de vapor de mercurio sin corrección de color.
 - ✓ Lámparas de vapor de mercurio con corrección de color.
 - ✓ Lámparas de vapor de mercurio con halogenuros metálicos:
- Las lámparas de vapor de mercurio sin corrección:

Son a las que no se les recubre con la materia fluorescente y las de vapor de mercurio con color corregido son las que tienen recubrimiento en la parte de adentro de una materia fluorescente.

La ampolla es de cuarzo y tiene cuatro electrodos de tungsteno recubiertos de materiales como el torio desprenden fácilmente electrones, dos electrodos son principales y dos son auxiliares, que con una o dos resistencias auxiliares, se encierra en un bulbo y son parecidas a las lámparas incandescentes.

Una vez cerrado el interruptor se producen dos arcos en el gas argón, entre los electrodos principal y auxiliar más próximos; esta descarga produce un calentamiento en el interior de la ampolla y vaporiza el mercurio, y después de unos minutos (de 3 a 5 generalmente), al hacerse conductor el interior de la ampolla, salta un arco entre los electrodos principales encendiendo la lámpara completamente.

El objetivo de la resistencia de arranque, que es de valor muy elevado incluso mayor que la resistencia de la ampolla cuando ya se encuentra vaporizado el mercurio, es de que una vez encendido el arco entre los electrodos principales, la corriente de los electrodos auxiliares quede interrumpida.

- ✓ Tiempo de encendido de entre 3 a 5 minutos.
- ✓ Tienen muy buen rendimiento lumínico.
- ✓ Potencias comprendidas entre 50 y 2000 W.
- ✓ Larga vida útil.
- ✓ Para encenderla de nuevo es necesario esperar entre 4 y 6 minutos.
- ✓ La luz que emiten este tipo de lámparas es de poca calidad, de tono azulado, sin radiaciones rojas, lo que hace que no se definan los colores (sin corrección de color)

- Lámparas de vapor de mercurio con corrección de color.

Se le añaden sustancias fluorescentes (vanadato de itrio) en el interior del bulbo de cristal de las lámparas convencionales se consigue que la luz emitida proporcione la correcta definición de los objetos y sus colores, al mejorar de una muy sensible el índice de reproducción cromática.

- ✓ Buen rendimiento lumínico: entre 35 y 60 lm/W
- ✓ Temperatura de color: entre 3500 y 4000 K
- ✓ Larga vida útil: 16000 a 24000 h.

- Lámparas de vapor de mercurio con halogenuros metálicos:

Esta lámpara es similar a las anteriormente mencionadas, solo que a estas se les añade pequeñas proporciones de compuestos de yoduro y halogenuro. Con esto consigue mejor rendimiento luminoso, y también mejor definición e colores.

También difiere en que en esta lámpara no lleva electrodos auxiliares de encendido. Para lograr que encienda necesita una fuerte sobretensión, pero depende del tipo y potencia de la lámpara, además de la reactancia necesita también un cebador o arrancador apropiado.

Principales características:

- ✓ Muy buena eficiencia luminosa 70 a 100 lm/W
- ✓ Buen índice IRC: 60 a 85.
- ✓ Larga vida útil: variable en función del tipo de lámpara (6000 a 20000 h)
- ✓ Su potencia varían desde 70 a 2000 W.
- ✓ Proporcionan buena definición de los colores.
- ✓ Para el encendido de este tipo de lámparas es necesaria una elevada tensión o sobretensión. Precisan equipo de arranque y control. Diferentes esquemas, según potencias y características de las lámparas.
- ✓ Se emplean en el alumbrado de grandes superficies (campos de fútbol, parques, polideportivos, fabricas, etc.)

➤ Lámparas de luz mezcla

Estas lámparas son la combinación de una lámpara incandescente y de otra de vapor de mercurio. Consta de un tubo de descarga de vapor de mercurio y de un filamento de tungsteno, conectado en serie con el tubo y sus electrodos principales. Todo el conjunto se pone dentro de un bulbo de vidrio, recubierto interiormente de material fluorescente.

Al conectar la lámpara a la red, primero enciende el filamento de tungsteno y después de dos o tres minutos se enciende la ampolla de vapor de mercurio, alcanzando su máxima luminosidad. La combinación de ambos sistemas de alumbrado, junto con el material fluorescente del bulbo de vidrio da como resultado una luz similar a la del día, con una gran definición de colores, por lo cual pueden ser empleadas tanto en interiores como exteriores.

El filamento de tungsteno se conecta en serie con la ampolla de descarga y permite que primero juegue el papel de estabilizador de descarga, de tal forma que este tipo de lámpara puede ser conectado directamente a la red, sin necesidad de reactancia, igual que una lámpara incandescente. La vida media de este tipo de lámparas es de 30000 horas y su rendimiento lumínico es de entre 18 y 25 lm/W.

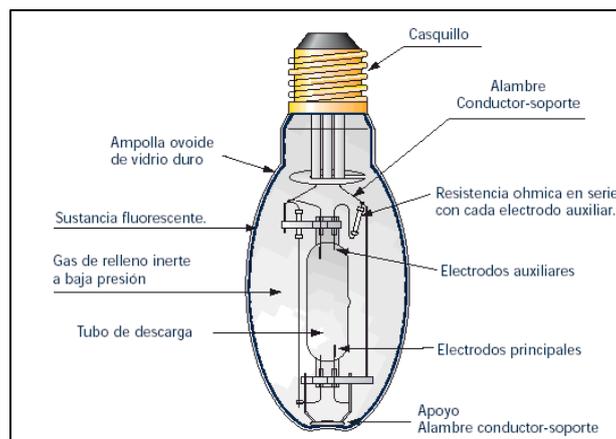


Figura 3.12 Lámpara de vapor de mercurio.

3.3.5. Lámparas de vapor de sodio

Las lámparas de vapor de sodio (Na) pueden ser de baja y alta presión.

- Lámparas de vapor de sodio de baja presión

Estas lámparas constan de dos ampollas tubulares de vidrio, este tubo (tubo de descarga) tiene forma de U y en su interior hay gas neón y baja presión además de una

pequeña cantidad de sodio puro (Na), que es un metal, y en sus extremos tiene dos electrodos conectados al casquillo de conexión.

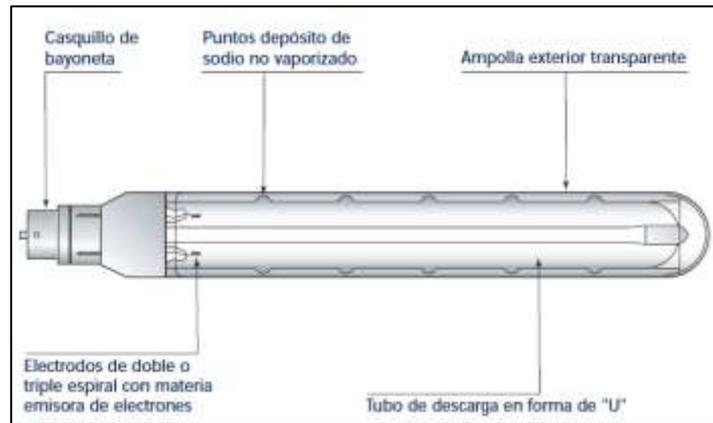


Figura 3.13 Lámpara de vapor de sodio de baja presión.

La ampolla exterior es de vidrio transparente, se emplea como protección de la descarga y entre ambas se hace el vacío.

Al conectar la lámpara a la red se produce una descarga eléctrica a través del gas neón, que se ioniza y se vuelve conductor, apareciendo luz rojiza que es característica de este gas. Después disminuye la resistencia entre los dos electrodos y el calor producido en la descarga vaporiza el sodio, pasando a ser el vapor de sodio el soporte principal de la descarga.

Como ocurre con las lámparas de descarga de gas necesita una reactancia, que por lo general es un autotransformador elevador, para proporcionar la gran sobre tensión que necesita para su encendido, a la vez actúa como limitador de corriente después del mismo, por lo general estas lámparas no necesitan de cebador ni auxiliar de encendido.

La luz que emite este tipo de lámpara es de color amarillo intenso y no resulta adecuado para lugares donde se requiere buena definición de los colores, por lo tanto suelen emplearse en carreteras o vías de tránsito donde lo principal es la percepción de movimiento.

Estas lámparas son de muy buen rendimiento lumínico, ya que están entre 130 y 180 lm/W, con una vida media de 6000 horas y un flujo luminoso casi constante a lo largo de su vida. El único inconveniente es que son de gran tamaño y suelen ser cambiadas por lámparas de vapor de sodio a alta presión, con menor rendimiento, aunque con menos volumen y mejor reproducción de los colores.

Estas lámparas de vapor de sodio de baja presión tardan en encender de 5 hasta 15 minutos generalmente, y también necesitan el mismo tiempo para reiniciar el encendido

después de un corte de tensión. Se emplean en alumbrado de vías públicas, autovías, autopistas, puertos y lugares abiertos.

- Lámparas de vapor de sodio de alta presión

Estas lámparas tienen un funcionamiento similar a las de baja presión, pero en vez de ser la ampolla de descarga de vidrio, es de óxido de aluminio sintetizado, conteniendo en su interior sodio, mercurio y un gas inerte a muy alta presión (más de 50 atm en algunas de ellas), siendo el sodio el principal elemento de producción de la luz. La ampolla es de vidrio y puede tener forma elipsoidal o tubular, con un casquillo de conexión, roscado o de bayoneta.

Para su funcionamiento se necesita una reactancia R, un aparato auxiliar de encendido A, de forma similar que las lámparas de mercurio con yoduros metálicos.

El campo de aplicación es similar a las de vapor de sodio de baja presión, pero esta consigue una mejor definición de colores y aun que tiene un rendimiento menor de 70 a 125 lm/W, pero su volumen es menor.

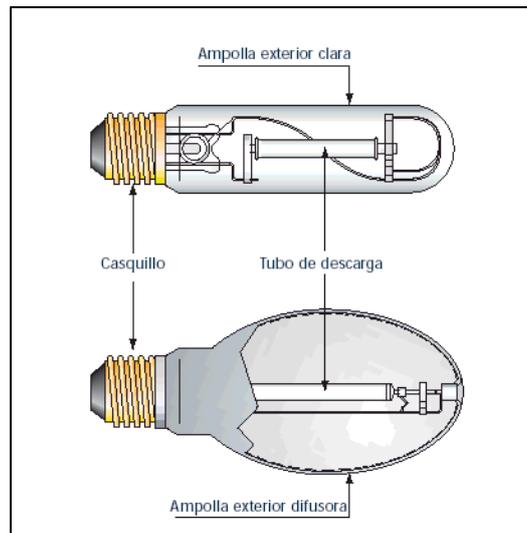


Figura 3.14 Lámparas de vapor de sodio de alta presión.

Para su conexión se debe de seguir las señas y recomendaciones del fabricante, para una correcta instalación, consiguiendo así un máximo rendimiento y vida de la lámpara.

3.3.6. Lámparas de iluminación con LEDS.

3.3.6.1 Fundamentos técnicos de la iluminación LED.

Para la iluminación se puede describir como: al aplicar una cierta corriente eléctrica sobre un diodo semiconductor LED de las características adecuadas, este reacciona emitiendo radiaciones de diversas características y longitudes de onda, entre ellas se encuentran, el calor, radiaciones infrarrojas, radiaciones ultravioleta y radiaciones visibles. Desde el descubrimiento de los científicos (hace 50 años), de que podíamos obtener una pequeña porción de luz visible, la tecnología ha avanzado lo suficiente como para conseguir una elevada eficiencia energética convirtiendo potencia eléctrica en flujo luminoso aprovechable para el ser humano, incluso luz blanca a base de la combinación de varios elementos semiconductores, voltajes y corrientes.

Existen varios colores que emiten los LEDS y estos son determinados por los elementos que conforman el cristal semiconductor, se puede obtener luz blanca mediante la utilización de un LED azul más una capa de fósforos, que transforman la luz azul original en blanca.

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

➤ Semiconductor

Es un elemento químico de la tabla periódica que se comporta como un conductor o un aislante dependiendo de diversos factores, como podría ser un campo eléctrico o magnético. Los semiconductores más comunes son: silicio, germanio, cadmio, aluminio, galio e indio; tienen como característica que en su última capa tienen entre 2 y 6 electrones. Este fenómeno de conducción de la corriente solo en ciertas circunstancias, se produce porque a partir de cierta temperatura algunos electrones saltan a la banda de conducción, dejando un hueco en la banda de valencia.

Existen semiconductores extrínsecos e intrínsecos. Los cristales de silicio o carbono tienen una estructura tetraédrica similar a la del carbono, y son semiconductores intrínsecos. También otros electrones pueden pasar de la banda de valencia a la de conducción, y en estas combinaciones siempre se libera energía. La concentración de cargas negativas y positivas siempre es constante para cada material. Los semiconductores extrínsecos son materiales como los anteriores, pero se le ha añadido un pequeño porcentaje de impurezas que suelen ser elementos trivalentes o pentavalentes. En este caso, se dice que estamos ante un semiconductor dopado.

➤ Diodo

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

Todo esto ha convertido al LED en pocos años en un fenómeno social de primer orden en el aspecto industrial, comercial y social, pasando de ser un elemento desconocido para la gran mayoría hace veinte años a ser hoy un elemento imprescindible para empresas, hogares o lugares públicos. Pero sobre todo en el aspecto económico, abaratando la producción de luz útil y por tanto permitiendo el ahorro de energía.

➤ Electroluminiscencia

Es un fenómeno por el cual un material emite luz como resultado de un estímulo en forma de corriente eléctrica. Existen fenómenos parecidos, de origen químico (quimioluminiscencia) o debidos a la temperatura (incandescencia). La electroluminiscencia ocurre en un material semiconductor cuando se le estimula mediante un diferencial de voltaje en directo sobre sus terminales, las cargas eléctricas negativas (electrones) y las cargas eléctricas positivas (huecos) son atraídas a la zona de unión, donde se combinan entre sí, dando como resultado la liberación de energía en forma de fotones.

➤ LED

Un led es simplemente un diodo que emite luz, es la abreviatura del nombre en inglés Light Emitting Diode, lo que traducido al español sería Diodo Emisor de Luz. Los ledes empezaron utilizándose para señalización, pero los avances en su utilización le han convertido en la fuente de luz más eficiente y versátil de que disponemos en la actualidad. El diodo emisor de luz, es un dispositivo semiconductor que transforma directamente la energía eléctrica en luz mediante electroluminiscencia. La robustez, una larga duración y una larga eficacia luminosa con un potencial de incremento adicional son propiedades destacadas de los leds.

Los leds son considerados un tipo de iluminación en estado sólido (SSL, SOLID STATE LIGHTING) así como los OLED (ORGANIC LIGHT EMITTING DIODES) y los PLED (POLYMER LIGHT EMITTING DIODES). Recientemente han aparecido los PLET.

El término “estado sólido” se refiere comúnmente a la luz emitida por electroluminiscencia de estado sólido, a diferencia de bombillas incandescentes (que utilizan radiación térmica) o tubos fluorescentes. En comparación con la iluminación incandescente, SSL crea luz visible con la menor generación de calor o disipación de energía parasita. El más común led blanco convierte la luz azul en un dispositivo de estado sólido a un espectro de luz blanca mediante fotoluminiscencia.

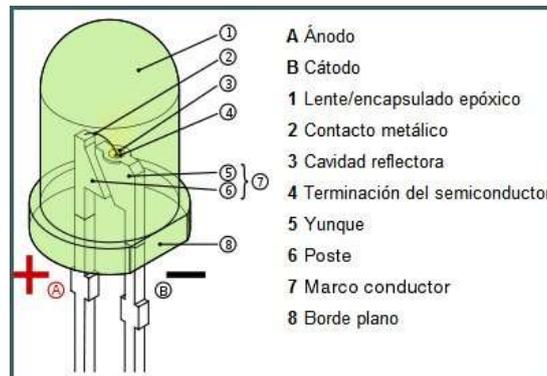


Figura 3.15 Partes que constituyen a un LED

➤ Como está construido un LED

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



Figura 3.16 Accesorio lámpara de automóvil



Figura 3.17 Interiores

Algunas aplicaciones con luz LED.



Figura 3.18 Exteriores

3.3.6.2. Funcionamiento del LED

➤ Emisión de la luz

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

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

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

La alimentación que se aplica a los leds en iluminación tiende a ser de entre 1 y 3V, y una intensidad de entre 0.1 y 3A. A mayor potencia aplicada, mayor temperatura se alcanza en su interior y los grados de eficiencia energética disminuyen. Los leds son muy susceptibles a los cambios de temperatura y operan con mayor eficiencia a temperaturas bajas, por esto es importante que los productos estén diseñados para permitir ventilación óptima y la disipación térmica, de este modo se podrá asegurar la longevidad, el lumen de salida y la eficiencia de los leds utilizados.

➤ Temperatura de funcionamiento

La corriente que produce choques de electrones también libera energía en forma de calor y es mayor si la corriente es mayor, esta temperatura debe de ser disipada ya que es el principal enemigo del funcionamiento óptimo y puede acortar la vida útil del diodo led. Un aumento continuo de la temperatura de funcionamiento provoca dos efectos: una depreciación del flujo emitido y una depreciación del flujo máximo. La temperatura debe ser disipada por conducción o convección.

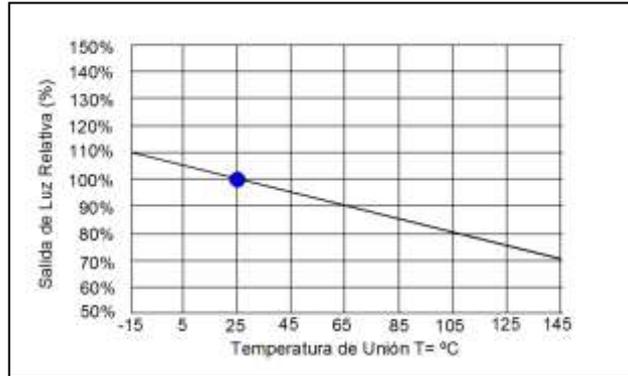


Figura 3.19 Depreciación del flujo luminoso en función de la temperatura.

➤ Tipos de luz en los leds

Los primeros leds hace algunos años emitían tan solo luz de un solo color, rojo, ámbar o verde. Con el tiempo la tecnología consiguió casi cualquier tonalidad de luz, incluso obteniendo leds que cabían sus características y color. Incluso sabemos que en 2014 ya se han alcanzado los 200 lm/W obteniendo una elevada eficiencia energética.

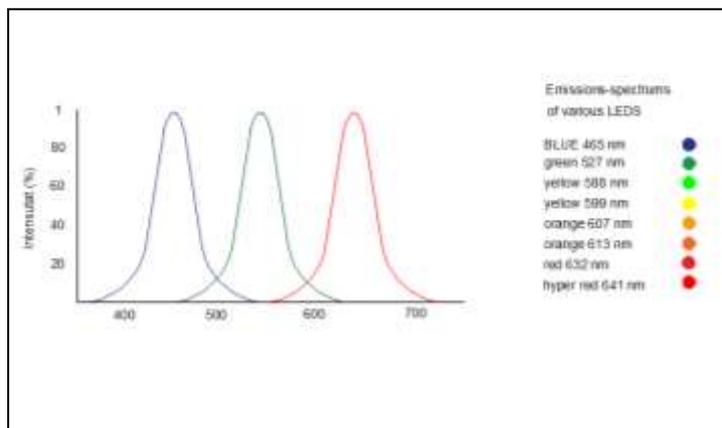


Figura 3.20 Longitud de onda de colores en LEDs

Nota: Los LEDs emiten luz en una banda muy estrecha de longitudes de onda, por tanto su color permanece prácticamente constante.

3.3.6.3. Beneficios e inconvenientes que presentan las luminarias LED.

Beneficios de los leds en 2009	Inconvenientes en 2009
Larga vida útil más de 50.000 horas.	Elevado precio de la instalación inicial.
Bajo consumo de energía hasta 80% de ahorro.	Dificultad en el diseño de las ópticas.
Elevada eficiencia energética: actualmente se alcanzan los 107 lm/W, incluso los 114 lm/W.	Elevada generación de calor detrás del led.
Encendido instantáneo.	Encarecimiento del producto acabado para obtener una buena disipación.
Resistencia a vibraciones o impactos.	Aumento del tamaño debido al disipador.
Resistencia a bajas temperaturas.	Dispersión de componentes y accesorios.
Mantenimiento prácticamente nulo.	Falta de estándares en el mercado actualmente.
Fácil instalación debido a su pequeño tamaño.	Alto brillo del led condiciona el UGR resultante.
Estética menos condicionada, libertad de diseño.	Aspecto y sensación visual muy distinta.
Adecuados para interiores y exteriores.	Luz muy focalizada: la ausencia de luz dispersa provoca un efecto raro en ciertas aplicaciones.
Regulación electrónica sin variación de color.	Menor rendimiento para los leds cálidos que los fríos.
CRI de hasta 90%.	Costo y fiabilidad de las fuentes de alimentación.
Ajustar la cantidad de luz a la necesidad.	Perdidas de rendimiento en el driver.
Preciso control de haz de luz.	Dificultad para obtener garantías fiables de los fabricantes.
Gama completa de colores, no necesitan filtros.	
Colores intensos, saturados.	
Tienen un excelente rendimiento de color.	
Nulo peligro de shock eléctrico (5 a 24 V C.C.)	
Muy bajo calor en el haz de luz (iluminación fría)	
Sin mercurio, ecológico no daña el medio ambiente.	
Sin irradiaciones de infrarrojos o ultravioletas.	
FHS emitido prácticamente cero.	
Costo por lumen más bajo.	

Tabla 3.3 Beneficios e inconvenientes de los LEDS (2009)

Beneficios (en 2014)	Inconvenientes (en 2014)
Larga vida útil más de 50,000 horas.	Elevado precio de la instalación inicial.
Bajo consumo de energía hasta 80% de ahorro.	Dificultad en el diseño de las ópticas.
Elevada eficiencia energética: actualmente se alcanzan rendimientos mayores de 160 lm/W, incluso los 200 lm/W.	Alto brillo del Led condiciona el UGR resultante.
Encendido instantáneo.	Dificultad para obtener garantías fiables de los fabricantes.
Resistencia a vibraciones o impactos.	Afecta negativamente a la producción de melatonina, especialmente la luz fría.
Resistencia a bajas temperaturas.	Pueden producir mayor grado de polución lumínica que otras lámparas.
Mantenimiento prácticamente nulo.	Pueden producir daños oculares en ciertas condiciones.
Fácil instalación debido a su pequeño tamaño.	Se producen en países con bajos estándares medioambientales.
Estética menos condicionada, libertad de diseño.	Se han instalado por motivos de moda en algunos municipios y los fallos que sin duda se producirán arruinarán el prestigio de la tecnología.
Adecuados para interiores y exteriores.	
Regulación electrónica sin variación de color.	
CRI de hasta 98%.	
Ajustar la cantidad de luz a la necesidad.	
Preciso control de haz de luz.	
Gama completa de colores, no necesitan filtros.	
Colores intensos, saturados.	
Tienen un excelente rendimiento de color.	
Nulo peligro de shock eléctrico (5 a 24 V C.C.)	
Muy bajo calor en el haz de luz (iluminación fría)	
Sin mercurio, por tanto ecológico.	
Sin irradiaciones de infrarrojos o ultravioletas.	
FHS emitido prácticamente cero.	
Costo por lumen más bajo.	
Respeto por el medio ambiente.	
Ahorro de miles de toneladas de emisiones de CO₂.	

Tabla 3.4 Beneficios e inconvenientes de los LEDS (2014)

3.3.6.4. Componentes de una luminaria LED

La tecnología para iluminar con leds ha evolucionado hasta lo que actualmente se conoce como LEDS SMD (Surface Mount Diode) o LEDS de alta luminancia. Estos son los más utilizados en iluminación y consisten en un chip de led, que es la unión del diodo con el fosforo adecuado, montado sobre una base de silicona, y esta sobre el disipador, el encargado de evitar el calentamiento extremo del conjunto. Por la parte superior encontramos el conector, que aporta la electricidad al diodo, el reflector o cuerpo y la lente que conduce la luz que emite el chip de led hacia el exterior, generalmente en un ángulo de 120°. Estos chips pueden llegar a tener 4 diodos de diferentes colores: Red, Blue, Green, White.

A partir de este módulo, que puede trabajar individualmente o en matriz, crearemos las lámparas o luminarias. Normalmente las luminarias led son semejantes al módulo en cuanto a componentes. Necesitamos un disipador de calor a una escala muy superior para que los leds aprovechen toda su vida útil y no se calienten, necesitamos el reflector que creara la curva fotométrica adecuada para el uso de la luminaria, o una lente o un difusor. Además necesitaremos el driver para transformar la corriente a la potencia necesaria.

Se puede decir que los tres componentes elementales para acompañar una luminaria led son: ópticas, drivers (fuentes de alimentación) y disipadores.

➤ Disipación de calor (térmica)

Las temperaturas muy elevadas repercuten de inmediato a los leds principalmente en disminución de la luz, disminuye la vida útil de los leds y su productividad económica y en la pérdida de luz una bajada de rendimiento en lm/W perdiendo su principal virtud de fuente eficiente.

La mayor parte de la energía el led no la convierte en luz sino en calor y la luz que emite se denomina luz fría ya que no contiene infrarrojos. Y el calor emitido es dirigido hacia el interior de la luminaria o proyector. El control del calor es el aspecto más crítico de estas luminarias ya que el 50% de la energía es transformada en calor. Los leds se comportan mejor en temperaturas bajas y en temperaturas altas se comportan peor. El calor produce cambios en todos los materiales y la mayor parte de las veces estos cambios son negativos como estrés mecánico y desplazamiento en las longitudes de onda. Mientras que la unión ánodo cátodo no debe superar la temperatura para la cual se ha diseñado la luminaria.

El disipador ayuda a que no se caliente el chip y así detener los efectos negativos del calor, el disipador se ha estado fabricando de aluminio pero en los últimos años se han

inclinado mayormente por que el disipador sea de cerámica ya que combina dos importantes características: es un material aislante eléctrico y conductor térmico.

Las formas de estos dispositivos son diseñados para ser ayudados al máximo por el aire a disipar el calor, incluso en leds de alta potencia se utiliza el agua como refrigerador incluso beneficia a la cerámica que no se oxida.

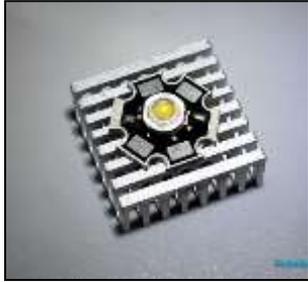


Figura 3.21

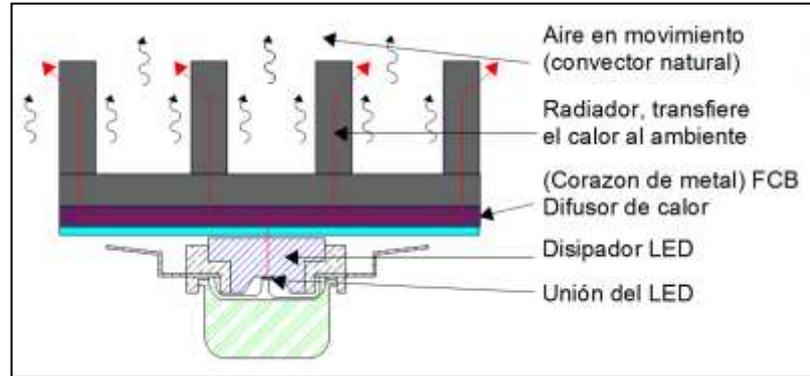


Figura 3.22

Figura 3.21 y Figura 3.22 Disipadores de calor

➤ Sistema óptico

La luminaria LED tiene como una de sus mayores ventajas el aprovechamiento del flujo luminoso debido a la unidireccionalidad que emite, aprovechando esto se tiene una eficacia luminosa, superando a las lámparas de descarga y halógenas. También esta unidireccionalidad puede ocasionar un deslumbramiento.

La luz emitida por un led de alta potencia presenta una curva fotométrica (debido a la lente primaria) de unos 120° y para aprovecharla necesitamos intercalar un sistema óptico. Se usan lentes secundarias (colimadoras) unidas al chip, también las secundarias que pueden cambiar el haz disperso de un led a un haz medio. Las que se usan para alumbrado vial son las: asimétricas y/o en forma de ala batwing. También se usan sistemas terciarios como son refractores o difusores para conseguir los efectos necesarios, deseados y moldear la forma del haz.

Las pérdidas por el sistema óptico varían de entre el 10% y el 30% en el mejor y peor de los casos, por ejemplo una luminaria con un led de 100 lm/W nos ofrecerá entre 70 y 90 lm reales al interponer un sistema óptico. Aquí se utilizan matrices de lentes y lentes individuales. Existen tres formas para conformar la fotometría adecuada para la iluminación exterior:

1) Ópticas planas:

Fabricadas con un numero de leds variables, con la misma lente en todos ellos.

2) Ópticas tridimensionales:

Donde los diferentes leds se orientan individualmente o por grupos, produciendo una curva fotométrica resultante de la suma de las fotometrías y orientaciones.

3) Ópticas con reflectores

En las cuales se utilizan diferentes materiales y posiciones de los leds para obtener curvas fotométricas diversas (este sistema es el que más se parece a la iluminación convencional).

En la iluminación exterior se tiene que de cada dos luminarias conocidas a fondo una de ellas utiliza un sistema óptico diferente.

En el caso de la iluminación interior lo que se busca en el sistema óptico es no deslumbrar de manera directa o indirecta, puesto que los leds son una fuente de luz muy puntual y su brillo es muy alto. Aquí se utilizan más los reflectores y los difusores.

La fabricación de ópticas es una de las partes más difíciles ya que por año han ido incrementando su potencial lumínico y disminuyendo su tamaño en mm^2 prácticamente 2 veces al año.



Figura 3.23 Concepto 3D



Figura 3.24 Óptica plana



Figura 3.25 Reflectores

➤ Drives y fuentes de alimentación

Los LED como otros tipos de aparatos electrónicos no se conectan directamente a la red eléctrica y necesitan un tipo de adaptador de corriente y en el caso de las luminarias led se le denomina driver. Los diodos LED trabajan con baja impedancia y con tensiones pequeñas y pocos miliampers, hasta 2 o 3 Amp, trabajan con C.C. y para que funcionen en casas, edificios o en la vía pública es necesario un convertidor de corriente alterna a corriente continua. (C.A/C.C) que estará entre la red eléctrica y la fuente de luz.

El driver es el elemento encargado de aprovechar la energía eléctrica con el máximo rendimiento posible, estabilizando la corriente y optimizando la vida del led, protegiendo de sobretensiones y evitando calentamientos fatales. También se requiere de resistencias que estarán conectadas a las tiras de leds.

Los drivers pueden estar situados en el interior de la luminaria pero en caso de falla se debería de desechar la lámpara y sería difícil de cambiar en cuanto a los que se encuentren situados en el exterior serian de fácil sustitución y mantenimiento, cuidando que estén debidamente protegidos de la intemperie y polvo.



Figura 3.26 Driver 150 W

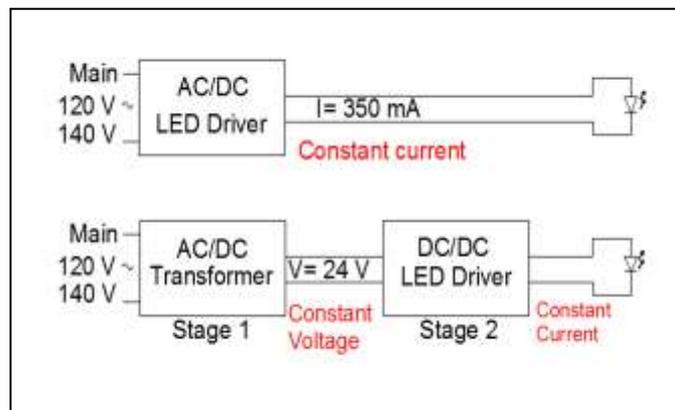


Figura 3.27 Modulo de Driver

Capítulo 4 Iluminación Exterior.

4.1. Requisitos fundamentales

Dando por sentado que los aparatos de iluminación están destinados a distribuir el flujo emitido por las lámparas a fin de dirigirlo a las superficies que deben iluminar, es importante subrayar que los que se emplean para la iluminación de exteriores deben responder a unos particulares requisitos luminotécnicos, eléctricos y mecánicos.

Desde el punto de vista luminotécnico, los constructores ponen una gran atención en el estudio y realización del grupo óptico, destinado a modificar la distribución del flujo luminoso emitido por las lámparas. Del grupo óptico depende, principalmente, el rendimiento del aparato, considerado como la relación entre el flujo luminoso que sale de la luminaria y el emitido por la lámpara. El empleo de aparatos provistos de sistemas ópticos deficientes puede, por lo tanto, repercutir en el coste de funcionamiento.

También se debe de considerar en la elección de las luminarias la clase para la cual están previstas, así como de su construcción a modo que proporcionen una protección eficaz frente a la acción nociva de los agentes atmosféricos (polvo, agua, etc.), no solo para las lámparas si no para el grupo óptico y todos los auxiliares eléctricos (portalámparas, reactancias, regletas de empalme, etc.).

Se debe tener una cuidadosa elección de las luminarias, teniendo en cuenta la funcionalidad y sin dejarse condicionar por el bajo precio o su aspecto externo. No se debe de olvidar que las instalaciones de alumbrado público implican siempre una responsabilidad tanto técnica como financiera por lo que el empleo de aparatos (y materiales) no realizados “según las reglas del oficio” puede dar lugar a múltiples inconvenientes si no es que incluso se ponga en juego la integridad física de las personas.

4.1.2. Clasificación Luminotécnica

a) Reflectores

Por medio de superficies especulares distribuyen la luz emitida por la fuente luminosa. Con relación al grado de deslumbramiento pueden ser apantallados (cut off), semiapantallados (semi cut-off), no apantallados (non cut-off).

Entran en esta categoría los proyectores, aparatos con los que es posible concentrar la luz en direcciones bien definidas, generalmente sobre superficies delimitadas. Se emplean para iluminación de plazas, monumentos, fachadas de edificios, campos de deportes.

b) Refractores

Están constituidos por cubeta, globos o pantallas de vidrio o de materiales plásticos (acrílicos y policarbonatos) estriados, que dirigen los rayos de luz en direcciones predeterminadas.

c) Difusores

Disminuyen la luminancia de las lámparas. Están constituidos por envoltentes de vidrio o material plástico opalino que atenúan el deslumbramiento, aunque reducen el rendimiento del aparato. Se utilizan para la iluminación de jardines, parques y alamedas, donde se dan unas exigencias estéticas específicas.



Figura 4.1 Algunos tipos de luminarias

4.2. Partes que constituyen generalmente a un luminario

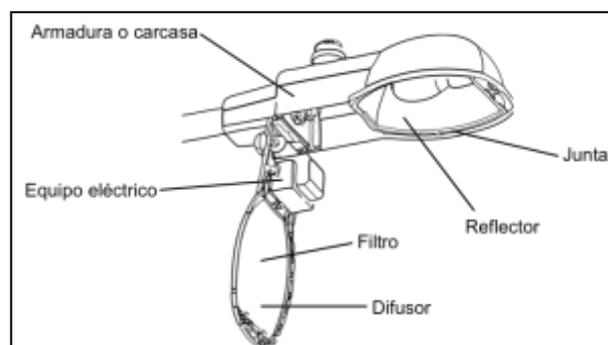


Figura 4.2 Partes de un luminario

4.3. Protecciones que utilizan los luminarios

a) Protección contra contactos indirectos.

Utilizan algunos aparatos que son de diferentes clases:

- Clase 1:

Están provistos de aislamiento funcional para proteger contra tensiones de contacto y asegurar el funcionamiento normal del aparato.

- Clase 2:

Este se encuentra provisto de aislamiento especial, este se encuentra con doble aislamiento uno funcional y otro suplementario.

b) Protección contra contactos directos y contra la penetración de líquidos y polvo

Grados de protección (IP) contra el contacto y la penetración de agua y suciedad en las luminarias LED

En número que va en primer lugar, normalmente denominado primera cifra característica indica la protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas (típicamente a partes con tensión o piezas en movimiento que no sean ejes rotativos y análogos) limitando la penetración de una parte del cuerpo humano y de objetos que tengan algún ser humano, garantizando simultáneamente, la protección del equipo contra cuerpos sólidos extraños.

Tabla 4.1 Grados de protección indicados por la primera cifra característica

Cifra	Grado de protección	
	Descripción abreviada	Indicación breve sobre los objetos que no deben penetrar en la envolvente
0	No protegida	Sin protección particular
1	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 50 mm	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 50 mm.
2	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 12 mm.	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 12 mm.
3	Protegida contra cuerpos sólidos de más de 2,5 mm.	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 2,5 mm.
4	Protegida contra cuerpos sólidos de mas de 1 mm.	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 1 mm.
5	Protegida contra la penetración de polvo	No se impide totalmente la entrada de polvo, pero sin que el polvo entre en cantidad suficiente que llegue a perjudicar el funcionamiento satisfactorio del equipo.
6	Totalmente estanco al polvo	Ninguna entrada de polvo.

El número que va en segundo lugar denominado como segunda cifra, indica la protección del equipo en el interior de la envolvente contra efectos que perjudiquen debido a la penetración del agua.

La segunda cifra también va en aumento de 0 hasta 8 y a medida que va aumentando su valor mayor será la cantidad de agua que quiera entrar en el interior de la envolvente. También se proyecta en más direcciones 1- gotas en forma vertical y 4- gotas en todas direcciones.

Tabla 4.2 Grados de protección indicados por la segunda cifra característica.

Cifra	Grado de protección	
	Descripción abreviada	Tipo de protección proporcionada por la envolvente
0	No protegida	Sin protección particular
1	Protegida contra la caída vertical de gotas de agua	La caída vertical de gotas de agua no deberán tener efectos perjudiciales
2	Protegida contra la caída de gotas de agua con una inclinación máxima de 15°	Las caídas verticales de gotas de agua no deberán tener efectos perjudiciales cuando la envolvente está inclinada hasta 15° con respecto a la posición normal
3	Protegida contra la lluvia fina (pulverizada)	El agua pulverizada de lluvia que cae en una dirección que forma un ángulo de hasta 60° con la vertical, no deberá tener efectos perjudiciales
4	Protegida contra las proyecciones de agua	El agua proyectada en todas las direcciones sobre la envolvente no deberá tener efectos perjudiciales
5	Protegida contra los chorros de agua	El agua proyectada con la ayuda de una boquilla, en todas las direcciones, sobre la envolvente, no deberá tener efectos perjudiciales
6	Protegida contra fuertes chorros de agua o contra la mar gruesa	Bajo los efectos de fuertes chorros o con mar gruesa, el agua no deberá penetrar en la envolvente en cantidades perjudiciales
7	Protegida contra los efectos de la inmersión	Cuando se sumerge la envolvente en agua en unas condiciones de presión y con una duración determinada, no deberá ser posible la penetración de agua en el interior de la envolvente en cantidades perjudiciales
8	Protegida contra la inmersión prolongada	El equipo es adecuado para la inmersión prolongada en agua bajo las condiciones especificadas por el fabricante NOTA – Esto significa normalmente que el equipo es rigurosamente estanco. No obstante para ciertos tipos de equipos, esto puede significar que el agua pueda penetrar pero solo de manera que no produzca efectos perjudiciales
Los procedimientos especializados de limpieza no están cubiertas por los grados de protección IP. Se recomienda que los fabricantes suministren, si es necesario, una adecuada información en lo referente a los procedimientos de limpieza. Esto esta de acuerdo con las recomendaciones contenidas en la CEI 60529 para los procedimientos de limpieza especiales.		

Adicionalmente y de manera que se proporcione información suplementaria sobre el grado de protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas, puede complementarse el código IP después de las dos primeras cifras colocando una letra. Las letras son (A, B, C, D) y proporciona información sobre como la envolvente previene la penetración de cuerpos sólidos, proporciona información sobre la accesibilidad de determinados objetos y partes del cuerpo a las partes peligrosas en el interior de la envolvente.

Tabla 4.3 Descripción de la protección proporcionada por las letras adicionales

Letra	La envolvente impide la accesibilidad a partes peligrosas con:
A	Una gran superficie del cuerpo humano tal como la mano (pero no impide una penetración deliberada). <i>Prueba con: Esfera de 50 mm.</i>
B	Los dedos u objetos análogos que no excedan en una longitud de 80 mm. <i>Prueba con: Dedo de $\phi 12$ mm y L= 80 mm</i>
C	Herramientas, alambres, etc., con diámetro o espesor superior a 2,5 mm. <i>Prueba con: Varilla de $\phi 2,5$ mm y L= 100 mm</i>
D	Alambres o cintas con un espesor superior a 1 mm. <i>Prueba con: Varilla de $\phi 1$ mm y L= 100 mm</i>

4.4. Soportes

Deben resistir solicitaciones mecánicas de variada índole (por ejemplo: el empuje del viento, peso de la nieve en los puntos de luz, resistir la acción corrosiva de los agentes atmosféricos, ser ligeros para facilitar su transporte, la instalación o sustitución tener un aspecto estético agradable puede tener formas diversas.) el cálculo de los soportes se hará conforme a las normas.

Las siguientes figuras ilustran algunos tipos.



Figuras 4.3 Tipo – Candelabro



Figura 4.4 Tipo – Báculo



Figura 4.5 Tipo brazo mural



Figura 4.6 Tipo ornamental



Figura 4.7 Soporte tipo moderno

4.4.1. Clases de postes

- De Acero

Pueden ser trefilados o soldados. En ambos casos presentan una buena resistencia a las sollicitaciones mecánicas y a la corrosión si han recibido el tratamiento adecuado (generalmente se les suministra con un revestimiento bituminoso para prevenir la corrosión, o bien con un baño galvánico de zinc tanto interna como externamente); son de menor peso que los postes de hormigón centrifugado. Son muy utilizados.

- De hormigón armado centrifugado

Son de larga duración sin que requieran mantenimiento, aun en presencia de una atmosfera corrosiva (salina o derivada de procesos industriales); el peso es considerable, lo que se refleja en los costos de transporte e instalación. se utilizan cuando la alimentación se efectúa mediante una línea aérea por ser menos flexibles que los postes de acero. En la punta del poste se puede fijar un brazo metálico por medio de abrazaderas.

- De aluminio

Su peso es decididamente inferior al de los tipos anteriores, lo que repercute positivamente en la puesta en funcionamiento, no requieren mantenimiento si han sido anodizados; mayor flexibilidad y costo que los de acero y hormigón.

- De material plástico

Su gran ligereza proporciona un ahorro en el transporte y en la instalación, tiene buena resistencia a la corrosión, aislamiento eléctrico elevado, flexibilidad superior a la de los postes de acero. Con independencia del material empleado para su fabricación se puede realizar un corte en la mitad del poste para cuando sea enterrado quede un orificio en donde se introduzca el cableado (en caso de utilizar una línea subterránea). Este orificio no será necesario si la conexión se realiza en una caja exterior en la base del poste como se muestra en la siguiente figura.

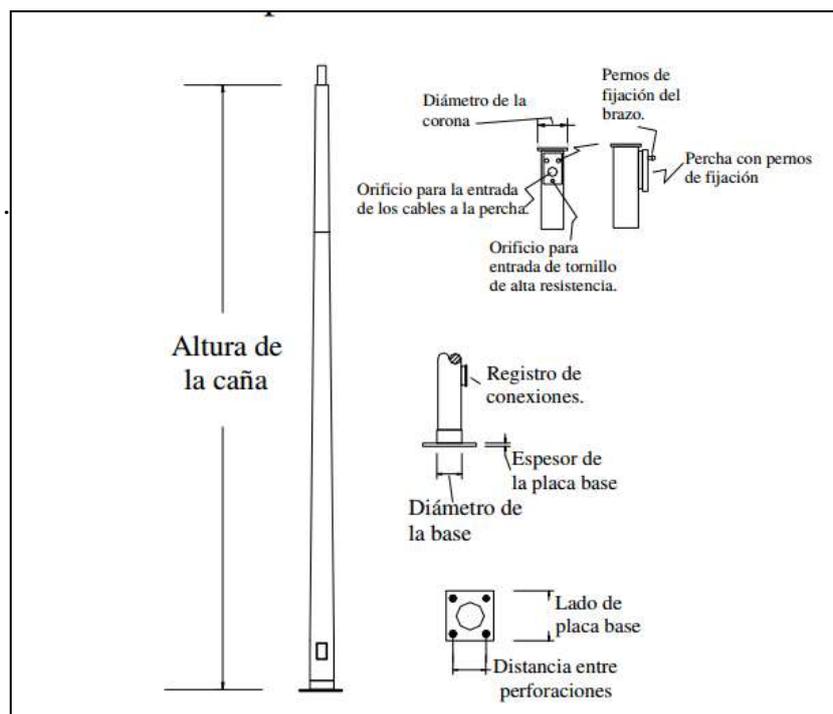


Figura 4.8 Poste metálico.

Figura 4.9 Dimensión en ancla del poste metálico

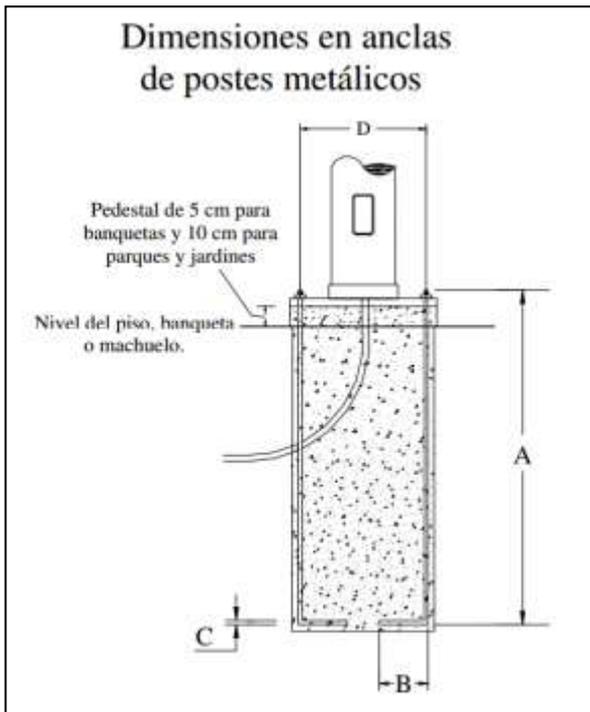


Tabla 4.4 Clasificación de anclas

A	B	C	D	Altura de poste	Nº de anillos de alambón $\frac{1}{4}$ "
75 cm	10cm	$\frac{3}{4}$ " (1.905cm)	19cm	4.50 m	2 piezas
100cm	10cm	$\frac{3}{4}$ " (1.905cm)	19cm	7.50 m	3 piezas
100cm	10cm	$\frac{3}{4}$ " (1.905cm)	19cm	9.00 m	3 piezas
150cm	10cm	$\frac{3}{4}$ " (1.905cm)	27cm	11.00 m	4 piezas



Figura 4.10



Figura 4.11

Algunos tipos de brazo para montar en los postes



Figura 4.12



Figura 4.13

Postes con brazo incorporado

- Fijación del brazo al poste:

Se realiza mediante dos cintas de acero que agarran el brazo, en algunos casos también en el brazo se cuenta con una ayuda de dos pernos (tornillos) con tuerca, que sujetan de mejor manera y hacen que resista más el peso del brazo en el poste.

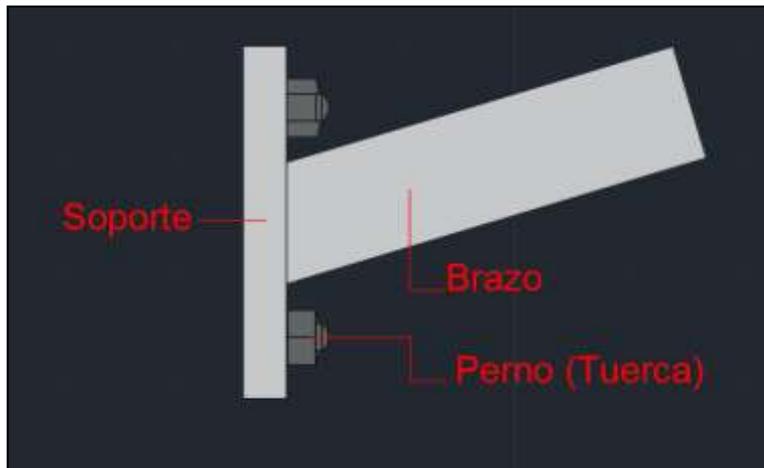


Figura 4.14 Brazo de Lámpara.

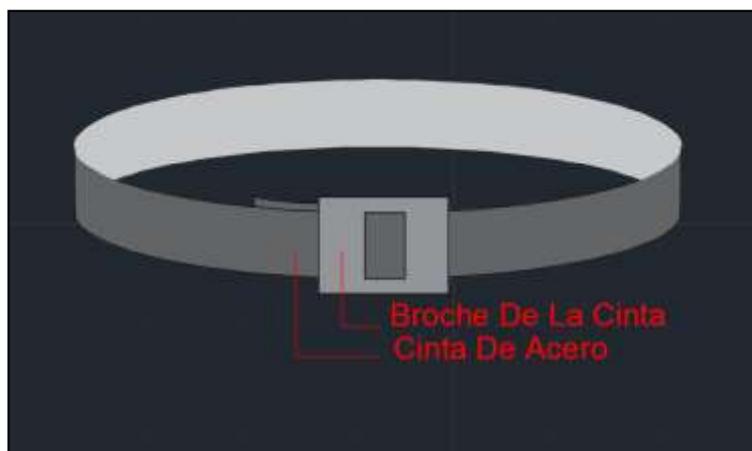


Figura 4.15 Cinta de acero para brazos de poste.

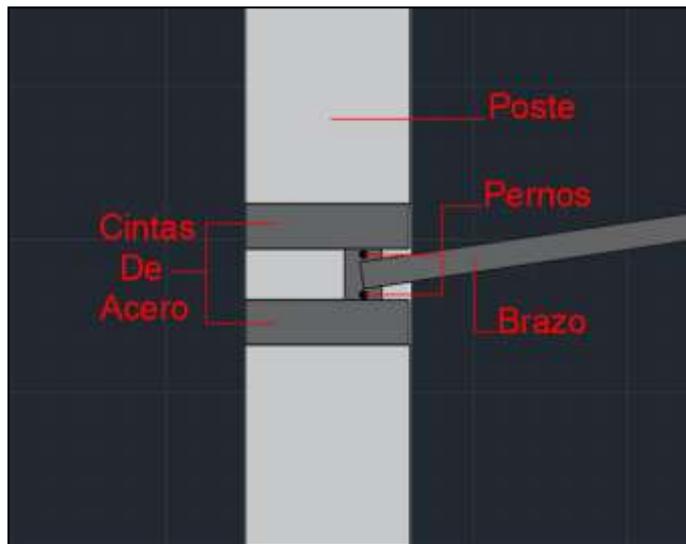


Figura 4.16 Fijación del brazo en el poste.

4.4.2. Bloque de cimentación

La profundidad de penetración del poste en el bloque de cimentación es, aproximadamente, de $0.12 H$, siendo H la longitud total del poste y en las normas se puede observar las dimensiones del bloque de cimentación.

Una vez teniendo las dimensiones del bloque de cimentación, el hueco destinado a recibir la base del poste debe tener un diámetro de 8 a 10 cm más grande que el de dicha base. El intersticio se rellena después con arena fina prensada y finalmente con un anillo de mortero de cemento. Con ellos se facilita una eventual extracción del poste.

El extremo del poste no debe de encontrarse en contacto con la tierra y se debe de cuidar la diferencia entre la profundidad de empotrado y la altura del cimientado).

Si el poste es de acero se debe de prever la aplicación de un aro de cierre en hormigón a fin de evitar la corrosión de la base de dicho poste

Si la línea es subterránea se debe prever una asperilla para dar entrada y salida al cable de alimentación; este se protegerá con un tubo de material termoplástico. Se debe cerrar al final de todo la asperilla con mortero.

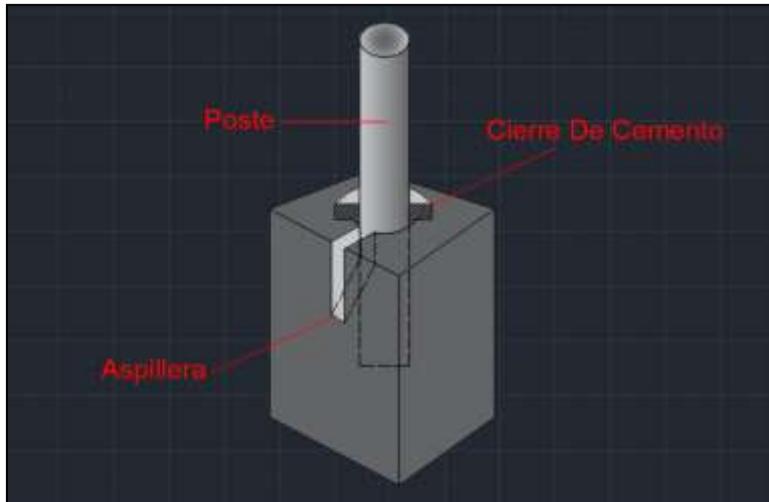


Figura 4.17 Bloque de cimentación visto por la parte de afuera.

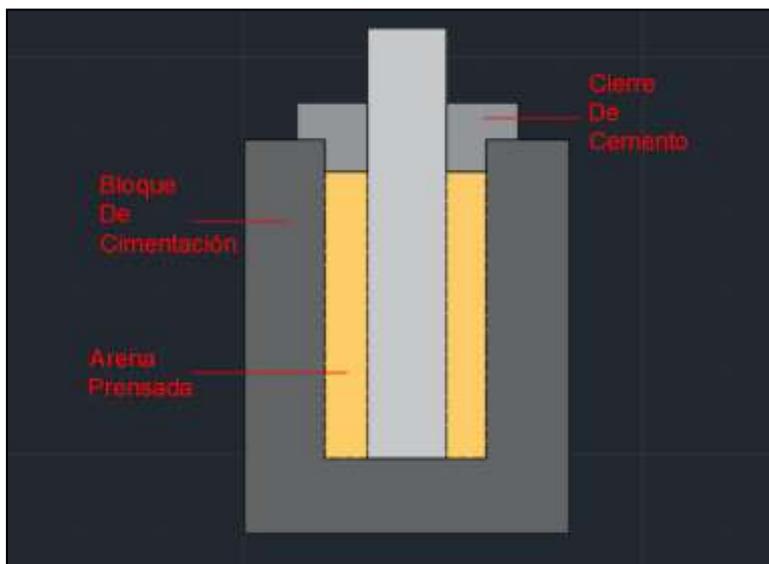


Figura 4.18 Bloque de cimentación visto por la parte interior.

4.5. Montajes en suspensión

- El cable que se utiliza debe de ser de acero
- Deben de tener abrazaderas, que son especiales para este tipo de alumbrado público
- Se debe de fijar la flecha a $1/30$ de la longitud del cable, cuidando que la altura h quede en donde se predijo.



Figura 4.19 Montaje en suspensión



Figura 4.20 Luminaria de montaje



Figura 4.21 Montaje en explanada

4.6. Finalidad y elementos a tomar en consideración

Una instalación de alumbrado público debe garantizar una visibilidad adecuada durante las horas vespertinas y nocturnas de forma que el tráfico automovilístico y peatonal se desenvuelva con seguridad.

Los usuarios de la vía pública deben de estar en condiciones de percibir y localizar oportunamente todos los detalles del entorno: señalizaciones, situaciones de peligro y obstáculos. Acerca de estos últimos, interesa poner en evidencia su perfil afín de que este pueda ser identificado rápidamente. El contorno resulta evidente solo si existe contraste, o sea, diferencia de luminancia entre el objeto y el fondo. El contraste recibe el nombre de directo cuando la luminancia del objeto es mayor que la del fondo e indirecto en caso contrario.

Se debe de tener en cuenta los siguientes elementos para el proyecto de instalación y explotación:

- a) Clase de vía pública, ancho de la misma y tipo de pavimentación:
En base a estos elementos se puede definir el nivel de iluminación las cuales ya están establecidas para cualquier tipo de vía pública.
- b) Luminarias y fuentes luminosas:
Condicionan la distribución del flujo luminoso al nivel de la calle y los costos de explotación de la instalación.
- c) Trazado de la instalación: permite definir la situación de los puntos de luz, la altura de los soportes y la separación entre los mismos, el saliente de los brazos sobre el bordillo y su inclinación.
- d) Tipo de alimentación prevista: monofásica o trifásica con neutro, línea aérea o subterránea. Tener en cuenta, además el emplazamiento de la acometida.
- e) Posibilidad de efectuar la instalación: distancias que deben ser observadas respecto a las líneas de transporte de energía eléctrica y de telecomunicaciones. Recabar autorización para instalar las diferentes partes que componen la instalación, a los propietarios de los terrenos, casas, etc.
- f) Cargas de instalación y conservación: tener en cuenta las diversas cargas consiguientes a los intereses del capital invertido, a las cuotas de amortización y a los costos correspondientes de la explotación.

4.6.1. Requisitos de las instalaciones

Evitar los fenómenos de deslumbramiento puesto que reducen la percepción visiva, aumenta la tensión nerviosa, causan fatiga. El deslumbramiento depende de la luminancia de la lámpara, de la luminaria, de su superficie emisora y de colocación respecto al campo visual.

La iluminación, se puede medir con el luxómetro, un instrumento bastante común.

Se debe garantizar la máxima seguridad contra los contactos directos e indirectos. Se debe de facilitar las operaciones inherentes al mantenimiento: sustitución de la lámpara y limpieza periódica de los aparatos de iluminación. No debe de constituir una fuente de peligro para los vehículos o para los peatones, a este fin se debe de determinar cuidadosamente la posición y distanciamiento de los apoyos.

Ofrecer un aspecto estético agradable. De ahí la elección de apoyos y luminarias cuyas formas y dimensiones se armonicen con el ambiente circundante y cuidadosa alineación

de los apoyos y de las luminarias; los apoyos no estarán pintados de colores demasiado vivos u oscuros para no crear un contraste excesivo con todo aquello que este próximo a la unidad luminosa.

Asegurar para todo el conjunto de la instalación un elevado grado de fiabilidad, ya sea recurriendo al empleo de materiales provistos de la marca de calidad, o bien adoptando aquellos dispositivos que satisfacen las “reglas del oficio”. Como ya se ha indicado, la utilización de materiales deficientes puede tener repercusiones negativas en el funcionamiento de la instalación y en la seguridad de las personas y cosas. Toda intervención destinada a subsanar una avería o para efectuar un mantenimiento, resulta siempre bastante costosa, sin tener en cuenta los peligros que pueden derivarse para las personas y las cosas, de un fallo de funcionamiento durante las horas nocturnas.

4.6.2. Nomenclatura

- a) Vía pública: área para uso público, abierta a la circulación de los peatones, animales y vehículos.
- b) Calle: parte de la vía pública destinada a la circulación de vehículos o animales. Su anchura se representa con el símbolo (L)
- c) Acera: parte de la calle realizada o delimitada de algún modo, reservada a los peatones.
- d) Separa-trafico: parte de la calzada vedada al tráfico y que delimita la zona destinada a la circulación en un determinado sentido, en un carril o hacia una determinada dirección.
- e) Punto de luz: constituido por una o más luminarias instaladas en el mismo soporte.
- f) Poste: soporte destinado a sostener una o más luminarias.
- g) Brazo: parte del soporte que sostiene la luminaria.
- h) Saliente del brazo (l): distancia entre el extremo del brazo y el eje del soporte o el plano de la pared (se mide horizontalmente).
- i) Saliente sobre el bordillo (s): distancia entre el centro óptico de la luminaria y el borde adyacente de la calzada. Se considera positivo si cae dentro de la calzada; negativo si cae fuera.
- j) Inclinación del brazo (T): ángulo de inclinación del brazo de la luminaria con relacional plano de la vía pública (puede hallarse comprendido entre 0° y 20°).
- k) Inclinación de la luminaria (Y): ángulo de inclinación del eje óptico respecto de la superficie a iluminar.
- l) Altura de suspensión de la luminaria (h): distancia vertical entre el centro óptico de la luminaria y el plano de la calzada.
- m) Separación (d): distancia entre dos puntos luminosos sucesivos, medida sobre una paralela al eje longitudinal de la vía pública.

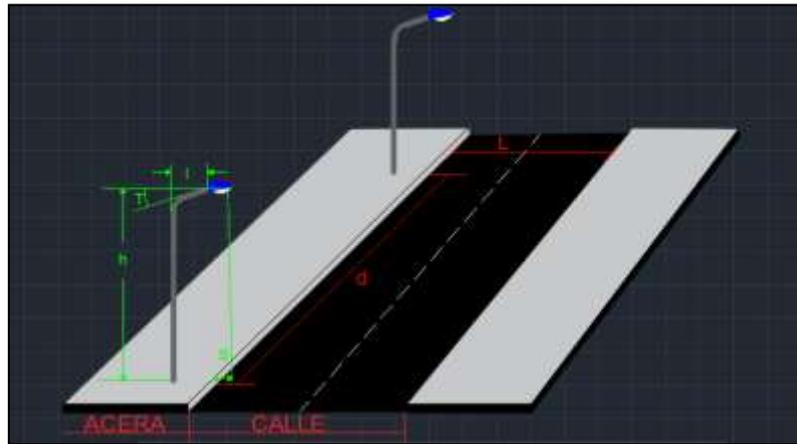


Figura 4.22

Vía pública con los diferentes requerimientos que se necesitan para iluminar una calle.

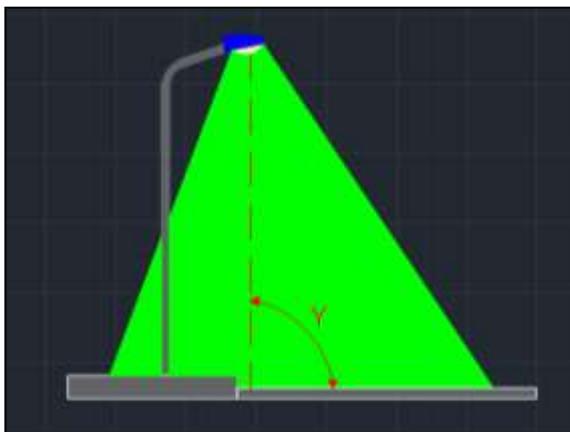


Figura 4.23 Grupo Óptico Horizontal

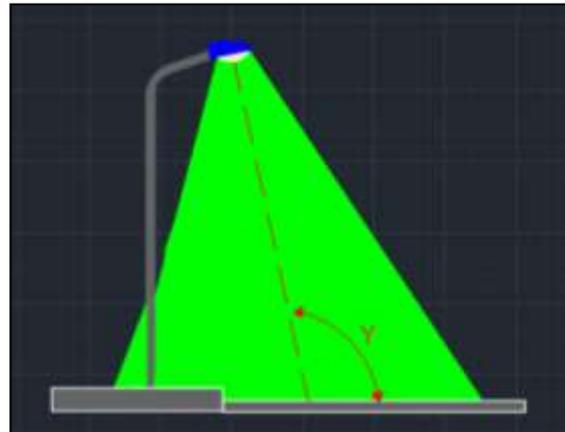


Figura 4.24 Grupo Óptico Inclinado

Variando adecuadamente el ángulo Y se aprovecha mayormente el flujo luminoso emitido por la luminaria y a igualdad de flujo, se puede iluminar una calzada de mayor anchura en este caso sería la imagen donde el grupo óptico inclinado.

4.6.3. Distribución de los puntos de luz

a) Axial

Buena iluminación en el centro de la vía, escasa hacia los lados, donde se desarrolla la mayor parte del tráfico y es más fácil que pueda haber obstáculo. Si la calle es ancha el conductor de un automóvil se siente inducido a desplazarse hacia el centro de la calzada.

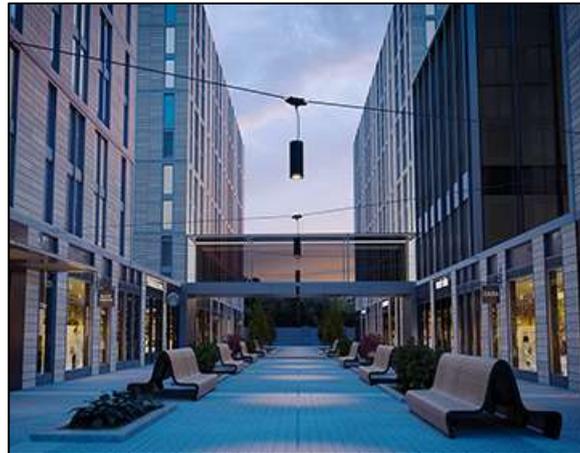


Figura 4.25 Ilustración de la distribución Axial en un pasillo.

b) Biaxial

Los puntos de luz están distribuidos a lo largo de cada una de las mitades de los carriles de la calzada. Se recurrirá a la distribución axial o biaxial siempre y cuando no sea posible realizar la colocación de postes o aprovechar las paredes de los edificios circundantes. En efecto las luminarias suspendidas pueden oscilar debido al empuje del viento dando lugar a fenómenos de deslumbramiento. Para estos casos se debe de tener en cuenta lo indicado con anterioridad en el montaje en suspensión.



Figura 4.26 Ilustración de la distribución Biaxial en una calle.

c) Unilateral

Concilia las exigencias luminotécnicas con las económicas, en particular cuando la fuente de luz está instalada a una altura igual o superior al ancho de la calzada. Permite una iluminación racional de las curvas. Se emplea cuando el ancho de la calle de la vía es igual o inferior a la altura del montaje de las luminarias.

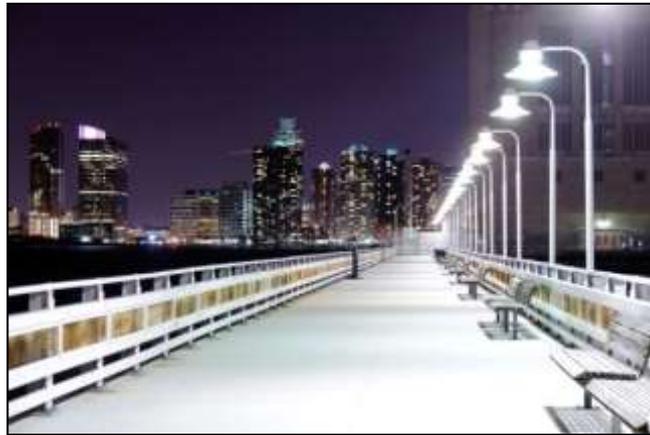


Figura 4.27 Ilustración de la distribución Unilateral en una calle.

d) Bilateral al tresbolillo

Buena visibilidad de ambos bordes de la vía pública, aunque el costo es superior al de la distribución unilateral, porque también se requiere una doble línea de alimentación. Es recomendable utilizar este tipo de distribución cuando la calzada es superior a la altura de la fuente de luz. Esta distribución es adoptada en carreteras muy anchas y de varios carriles. Y no es recomendable en los centros habitados. Es necesario determinar cuidadosamente la distancia de separación entre los puntos de luz, a medida de evitar un efecto de manchas de luz (zigzag). Se utiliza principalmente cuando el ancho de la calle de la vía está comprendido entre 1 y 1.5 veces la altura del montaje de las luminarias.



Figura 4.28 Ilustración de la distribución Bilateral al tresbolillo en una calle.

e) Bilateral pareada

Es preferible a la distribución con unidades alternas, aunque más cara. Es recomendable en vías anchas (con dos o más carriles en ambos sentidos), donde el ancho de la calzada es mayor que 1.5 la altura de la fuente de luz. Si los soportes son muy próximos o son muy altos o las luminarias sobresalen excesivamente del bordillo, se puede crear el “efecto túnel”. Por lo tanto es recomendable utilizar luminarias sin brazo, especialmente en los tramos rectilíneos.



Figura 4.29 Ilustración de la distribución Bilateral pareada en una calle.

f) Doble central

En vías con banda central de separación. De características análogas a la disposición unilateral. Respecto a la distribución bilateral preada, ofrece ventajas de carácter económico (reducción en el número de soportes y línea única de alimentación). También es buena la estética de la instalación.

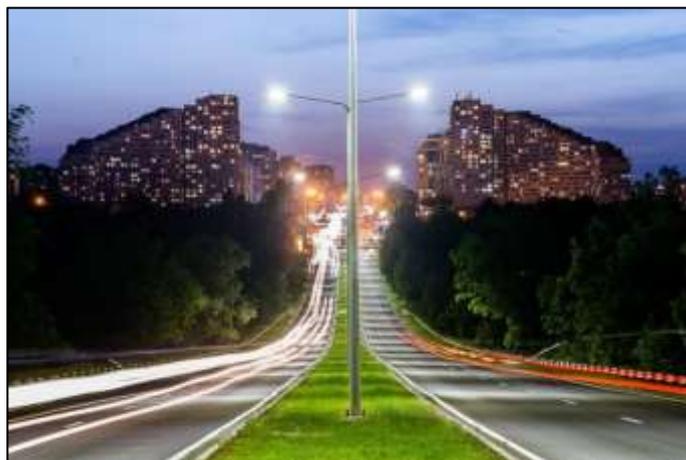


Figura 4.30 Ilustración de la distribución Doble central en una avenida.

g) Estilo alameda

Es utilizada en vías con árboles o jardines donde deben ser respetadas algunas exigencias de carácter estético y donde arboles de alto porte obstruyen la emisión luminosa procedente de luminarias instaladas en postes altos. Se debe tomar en cuenta el crecimiento del follaje. Se debe de podar los árboles para minimizar su interferencia con la iluminación. La altura a podar depende de la altura del punto de luz y de la distancia entre este y el follaje.



Figura 4.31 Ilustración de la distribución estilo alameda en un parque.

h) En grupo

Esta distribución sirve para la iluminación de cruces con refugio central, plazas y nudos de carreteras. Para grandes áreas están provistos los “torrefaros” que son soportes de 20 a 40 metros de altura en cuya cima se instalan baterías de luminarias. Unos dispositivos adecuados permiten bajar al suelo las luminarias, facilitando notablemente su mantenimiento (torrefaro de plataforma móvil).



Figura 4.32 Ilustración de la distribución de luminarias en grupo en un estacionamiento.

i) Con mediana de separación

Cuando las vías de tráfico tengan mediana de separación entre los carriles de circulación las luminarias se colocan en tres diferentes formas:

- La disposición de las luminarias es a ambos lados del boulevard, para cualquier medida de ancho de la calle.



Figura 4.33 Luminarias a los extremos de un boulevard.

- Se colocara doble central si la mediana del boulevard tiene menos de tres metros de ancho ($d \leq 3$)



Figura 4.34 Luminarias en el centro del boulevard.

- Si la mediana tiene más de tres metros ($d \geq 3$), o para cualquier ancho si así se desea, las luminarias se colocaran como si se tratara de dos calzadas independientes.



Figura 4.35 Luminarias en el centro con poste cada una de un boulevard.

j) Curvas y cruces

- Curvas

Se entiende por curva la que cuyo radio medio sea inferior a 300 m, ya que si su radio fuese mayor se tratarían como tramos rectos. En las curvas si el ancho de la calle de la vía es menor de 1.5 veces la altura de las luminarias, estas se deberán colocar en la parte exterior de la curva.

Para vías con ancho superior a 1.5 veces la altura de las luminarias, la distribución de las luminarias debe ser pareada y la separación entre ellas debe reducirse entre el 50 y el 75% con relación a los tramos rectos de la vía. Se recomienda no distribuir nunca las luminarias al trespelillo.

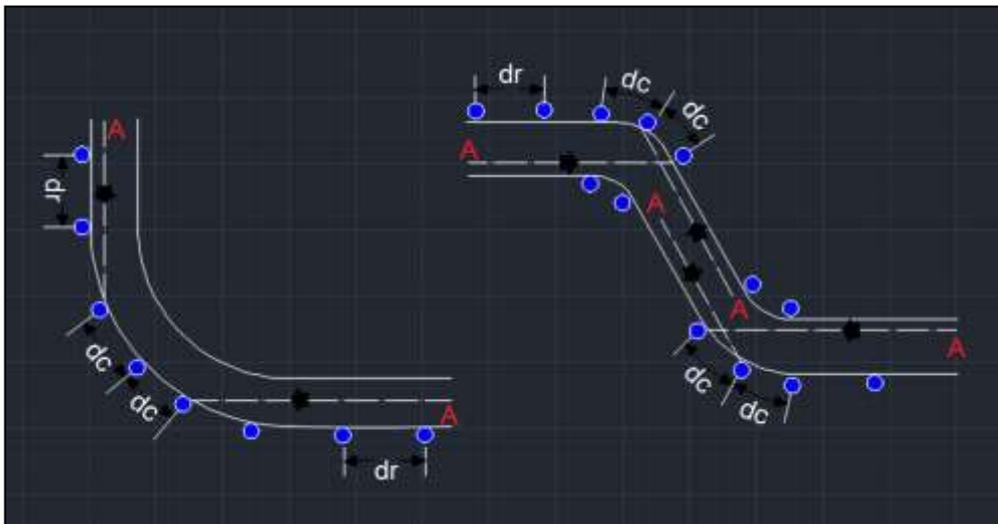


Figura 4.36 Disposición de luminarias en curvas

d_r - separación en el tramo rectilíneo.

d_c - separación en el tramo curvilíneo (de $2/3$ a $1/2 d_r$, según el radio de curvatura).

- Cruces

En la iluminación de los cruces siempre ha de tenerse en cuenta que esta ha de ser igual o superior a la mayor de las iluminaciones de las vías que concurren en el.

- Para la iluminación de cruces en T es válido colocar un punto de luz en la prolongación del eje de la circulación confluyente al propio cruce (centro luminoso)
- Para cruces en X puede haber diversas soluciones, según el tipo de vías que concurran a ellos.

Cuando se trate de vías de la misma clase dotadas de iluminación bilateral es aconsejable colocar un punto de luz en el lado opuesto del cruce respecto de la dirección del tráfico. Si las vías pertenecen a diferente clase será conveniente aumentar el nivel de iluminación para llamar la atención de los usuarios de la vía.

Los cruces muy amplios o de tipo particular se presentan a múltiples soluciones; para la elección de la más racional será necesaria la colaboración entre el especialista en tráfico rodado y el técnico en iluminación.

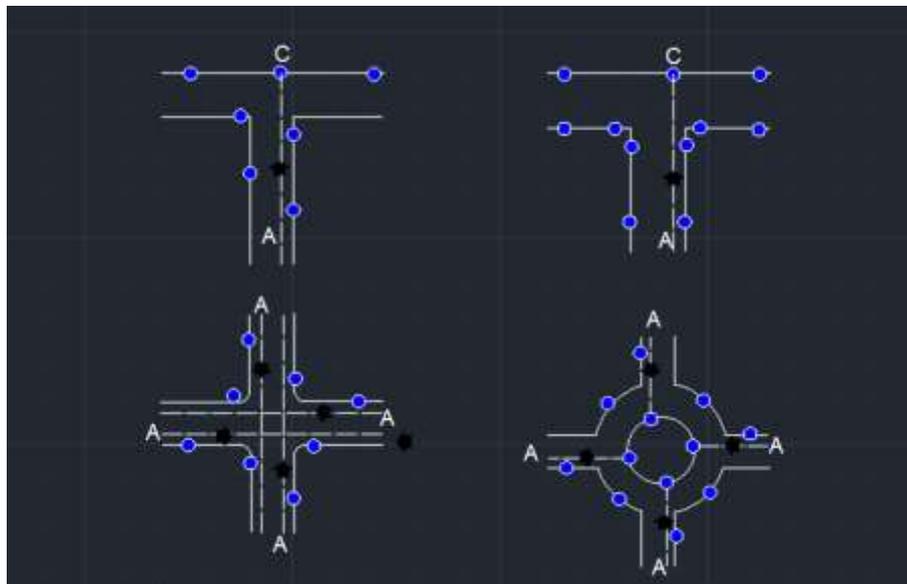


Figura 4.37

Diferentes tipos de cruces de algunas vías y sus diferentes distribuciones.

k) Paso de peatones

El alumbrado tiene una doble finalidad:

1. Iluminar a los peatones que se encuentran en el paso cebra a fin de que su imagen clara se destaque sobre el fondo oscuro de las zonas circundantes. A este fin, colóquese la luminaria próxima al eje del paso (por ejemplo a una distancia aproximadamente de igual a 0.7 veces la altura de montaje).
En cuanto a los niveles de iluminación, es aconsejable que sea de 4 a 5 veces mayores que los niveles horizontales de la instalación básica. Por tanto tendrá que elegirse la potencia de las lámparas.

2. Señalar en tiempo útil a los conductores, la presencia de personas en el paso de peatones. Se encuentran en el comercio aparatos que llevan en sus costados bandas blancas y negras para señalar el paso durante las horas del día. Por la noche, el paso de peatones se destacara más si se adoptan lámparas de vapor de sodio de baja presión.

La altura de montaje de las luminarias será lo más reducida posible, sin que, desde luego, se limite con ello la altura útil para la circulación.

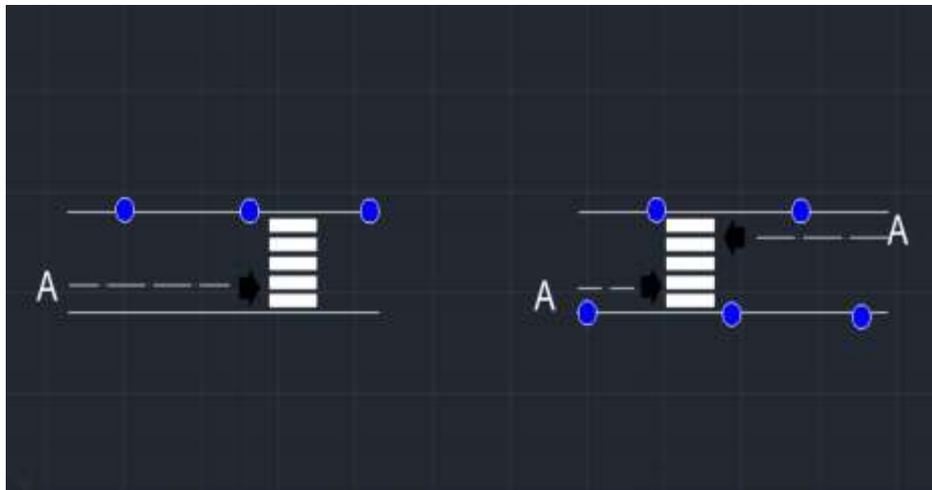


Figura 4.38

Distribución de luminarias para paso de peatones, con un solo sentido de circulación de vehículos y para doble sentido de circulación.

l) Nivel de iluminación

De acuerdo con la Secretaría del Trabajo y Previsión Social se tiene la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la tabla siguiente.

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación (Luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> • de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; • exactas y muy prolongadas, y • Muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño. 	2,000

Tabla 4.5 Niveles de iluminación en aéreas determinadas.

- m) Altura de los puntos de luz
 ➤ Con relación a la anchura de la calzada.

Esta altura se puede determinar mediante el flujo de la lámpara. Y la disposición de los postes con la relación de la altura de las luminarias y el ancho de la calle.

Flujo de la lámpara (lm)	Altura (m)
$3000 \leq \Phi_L < 10000$	$6 \leq H < 8$
$10000 \leq \Phi_L < 20000$	$8 \leq H < 10$
$20000 \leq \Phi_L < 40000$	$10 \leq H < 12$
≥ 40000	≥ 12

Disposición	Relación ancho/altura
Unilateral	≤ 1
Tresbolillo	$1 < A/H \leq 1.5$
Pareada	> 1.5

Tabla 4.6 Altura con relación flujo de la lámpara. Tabla 4.7 Disposición con relación $\frac{A}{H}$.

- n) Separación de los soportes respecto de líneas

Los soportes de las luminarias deben mantenerse alejados de los conductores destinados a las telecomunicaciones y al transporte de energía eléctrica.

1. Líneas para telecomunicaciones aéreas: $d \geq 1$ metro; en cable: $d \geq 0.5$ metro.

Líneas para el transporte de energía: $d \geq 1$ metro para las redes de categoría 1, o sea, de tensión nominal hasta 1000 V en corriente alterna (se puede reducir a 0.5 m para líneas que emplean conductores en forma de cable aéreo así como también en el interior de las poblaciones). $d \geq 3 + 0.015 U$ (m) para las redes de categoría 2 y 3.

Siendo U la tensión nominal de la línea aérea (kV). Dicha distancia se puede reducir a $1 + 0.0015 U$ para líneas constituidas por cable aéreo así como en el caso de que exista acuerdo entre los propietarios interesados, incluidas las líneas con conductores desnudos.

Redes de categoría 2: sistemas de corriente alterna cuya tensión nominal es de más de 1000 V, hasta 30 000 incluso.

Redes de categoría 3: sistemas cuya tensión nominal es de más de 30 000 V. Para el control de la distancia se tiene en cuenta la flecha de los conductores a la temperatura máxima y suponiendo una inclinación de la catenaria de 30° respecto a la vertical. Algunas Normas para la prevención de accidentes de trabajo en la construcción dicen: No podrán efectuar trabajos en la proximidad de líneas aéreas si la distancia es menor a 5 m de la construcción o de los andamios a menos que de previa indicación a la compañía suministradora de energía eléctrica, no se proceda por parte de quien dirige dichos trabajos a una adecuada protección capaz de evitar contactos accidentales o una aproximación peligrosa a los conductores de dichas líneas.

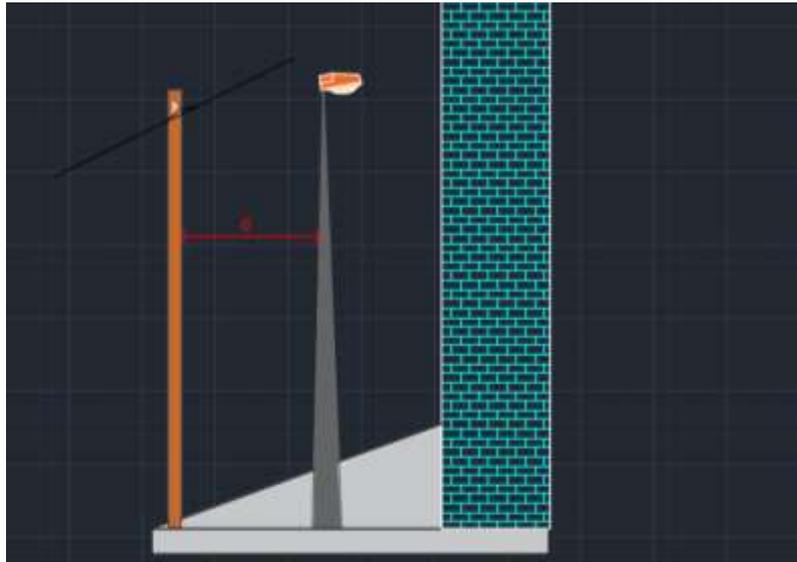


Figura 4.39 Separación con líneas de telecomunicación.

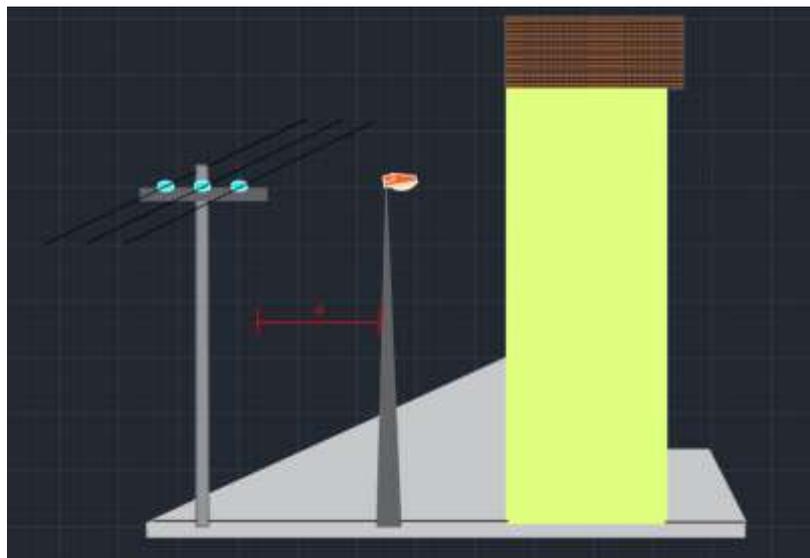


Figura 4.40 Separación con líneas de transporte de energía eléctrica.

o) Separación entre soportes de luminarios y coeficiente de utilización.

Separación entre soportes de luminarios:

La separación entre puntos de luz debe ser tal que en la zona correspondiente a la proyección vertical del centro óptico de cada luminaria sobre la calzada, se reciba una parte del flujo emitido por el punto de luz contiguo, esto es necesario para obtener una satisfactoria uniformidad de la iluminación. La separación incide sobre los costos de la instalación (mayor o menor número de soportes y de luminarias) y de la conservación.

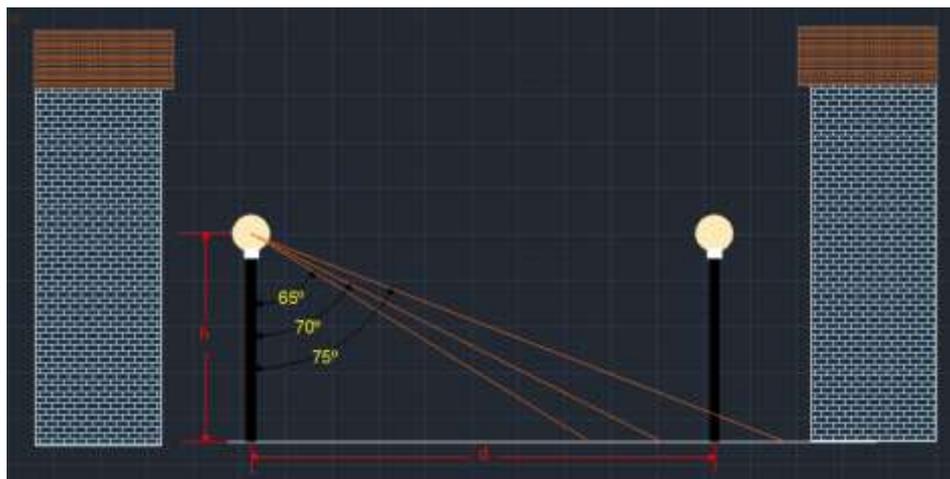


Figura 4.41 Separación entre dos Soportes (Postes).

La separación depende de la altura del montaje de los puntos de luz, del grado de deslumbramiento que pueda tolerarse y del grado de uniformidad de iluminación que se desee obtener.

Coefficiente de utilización η_u : se refiere a la relación entre el flujo luminoso que alcanza la calzada ($\Phi_u = \text{flujo util}$) y el flujo emitido por la lámpara (Φ_L) o sea:

$$\eta_u = \frac{\Phi_u}{\Phi_L}$$

Varía según el tipo de luminaria (rendimiento y distribución fotométrica), la disposición de los puntos de luz (altura y saliente sobre la banquetta), la anchura de la calzada, el factor de reflexión de las fachadas de los edificios circundantes, en caso de que los haya. En la práctica, el orden de magnitud del coeficiente de utilización se sitúa entre 0.20 y 0.5 para una vía de anchura similar a la altura de la instalación.

El valor del coeficiente de utilización lo suministra el constructor de las luminarias o un laboratorio independiente, tras efectuar las oportunas pruebas del laboratorio. Habitualmente se proporcionan dos curvas, una correspondiente a la emisión anterior de la luminaria (lado de la calle) y la otra relativa a la parte posterior (lado casas).

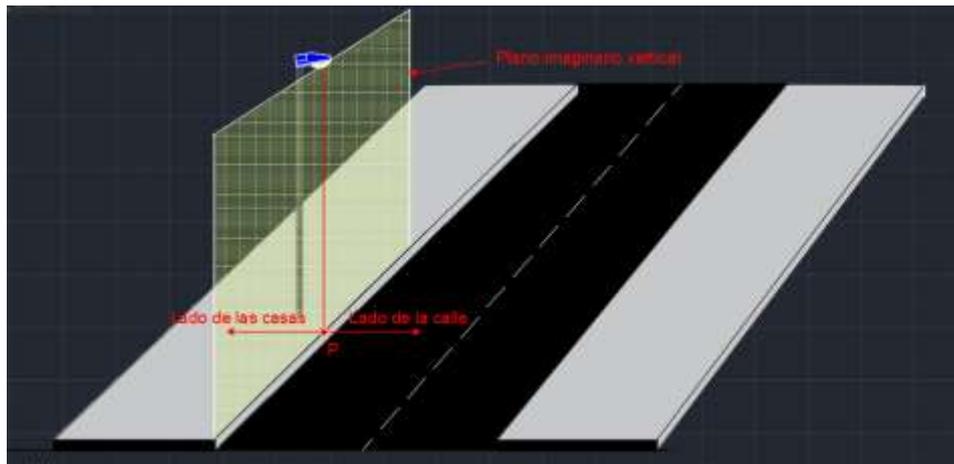


Figura 4.42

Ilustración del plano imaginario que divide los lados representados en la imagen.
P – Pie de la luminaria.

Dicho de otra manera, el espacio a través del cual la luminaria envía el flujo luminoso hacia el suelo, se divide imaginariamente por medio de un plano vertical paralelo al eje de la calle que se debe iluminar y que pasa por el foco de la propia luminaria.

Partiendo de dicho plano y avanzando en sentido transversal a la vía se obtienen porciones cada vez mayores de flujo luminoso. Dichas porciones, expresadas en función de la distancia transversal respecto al pie de la luminaria, al ser trasladadas a un diagrama originan curvas que pueden ser representadas en algunas gráficas.

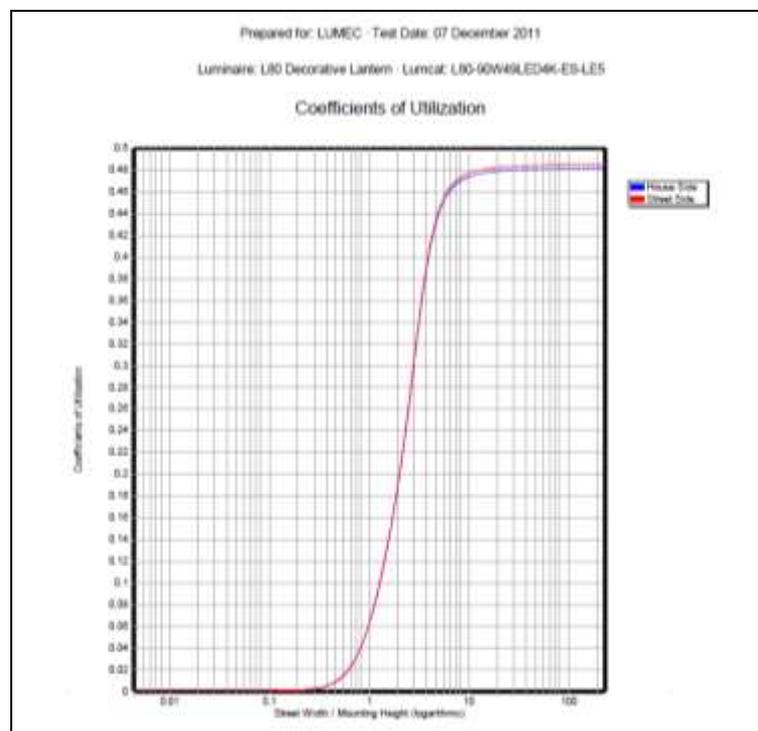


Figura 4.43 Curva para obtener el coeficiente de utilización

Algunos constructores, en lugar de considerar la relación de la anchura/calle de la instalación, expresan las distancias en múltiplos de la altura h y los flujos en tanto por ciento del flujo nominal de la lámpara, obteniendo curvas análogas.

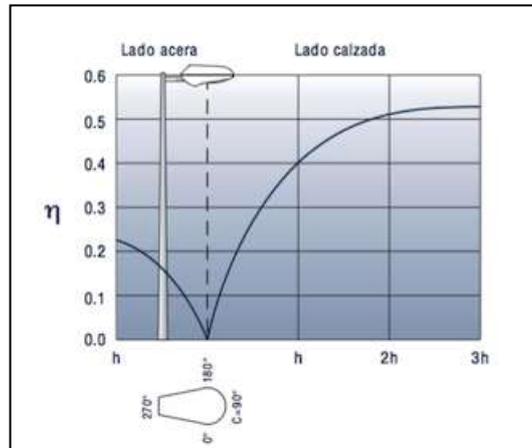


Figura 4.44 Otro tipo de curvas para obtener el coeficiente de utilización

p) Saliente sobre el borde de la calzada.

El saliente del centro óptico de la luminaria con relación al borde de la calzada influye en la uniformidad transversal de la iluminación y en el coeficiente de utilización. El saliente es indicado con algún símbolo, este también condiciona la estética de la instalación: frente a salientes excesivos, el usuario tiene la impresión de hallarse en un túnel y dicho efecto se acentúa mayormente en el caso de que se adopten luminarias largas, como las destinadas a lámparas de sodio a baja presión.

Respecto a la elección del saliente para el brazo es conveniente consultar con los fabricantes de luminarias puesto que, con las tendencias actuales en el estudio y construcción de los grupos ópticos, los aparatos se pueden montar con un saliente igual a cero, incluso negativo que sería con el centro óptico retrasado con relación a la línea del borde.

Se debe de tener en cuenta lo siguiente en cuanto a la posición en la instalación de los soportes:

- Si la calzada urbana se halla delimitada por aceras, la base del soporte se debe retirar a no menos de 0.5 metros del borde de la propia acera.
- En el caso de vías extraurbanas, cuando los soportes estén colocados más lejos de los límites extremos de la calzada, se deberá adoptar un brazo de mayor longitud.

Se considera satisfactorio un saliente de 1.5 metros más o menos, tanto desde el punto de vista luminotécnico como estético y económico.

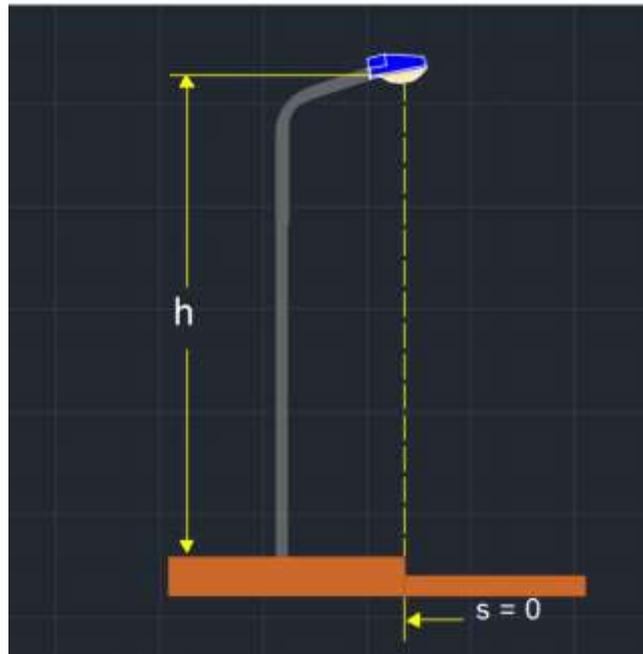


Figura 4.45 Cuando la Lámpara queda exactamente arriba del borde de la acera.

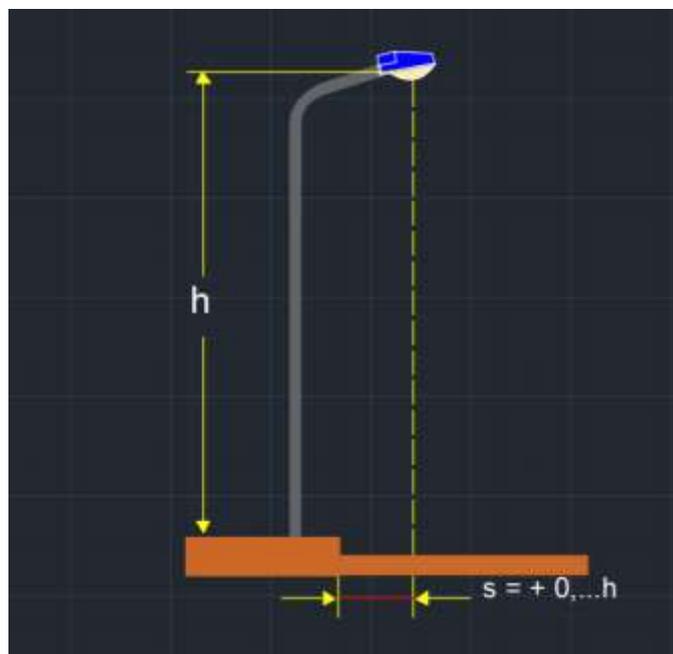


Figura 4.46 Cuando la Lámpara queda salida de la acera o sobre la calle.

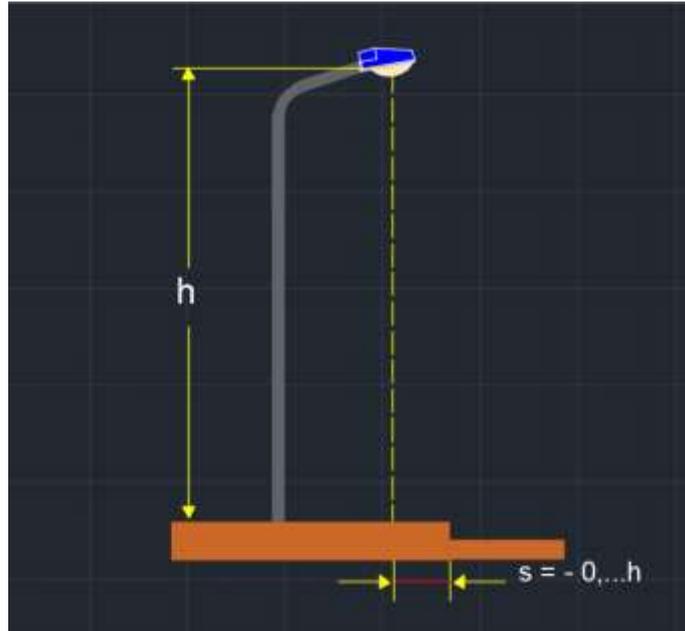


Figura 4.47 Cuando la Lámpara queda en la parte de adentro sobre la banqueta (Acera).

4.7. Relación entre los parámetros fundamentales.

De todo lo anteriormente mencionado se puede decir que los parámetros fundamentales son:

- El tipo y la potencia de la fuente luminosa.
- La anchura de la calzada (L).
- La altura de montaje del punto de luz (h).
- El saliente del centro luminoso con relación al borde de la calzada (s).

Al variar estos parámetros, podemos variar también el porcentaje del flujo luminoso útil para la iluminación de la vía y por lo tanto el coeficiente de utilización.

4.8. Método de cálculo

Este permite definir las magnitudes geométricas y luminotécnicas de la instalación entre las primeras se encuentran:

- Altura de los puntos de luz (h).
- La separación entre las unidades luminosas (d).
- El saliente del brazo (l)
- El saliente respecto al borde de la calzada (s).

Las magnitudes luminotécnicas a considerar son:

- El nivel de iluminación media en la calzada (E_m).
- El coeficiente de utilización (η_U) con relación al tipo de luminaria previsto.
- El flujo luminoso que deberá emitir cada punto de luz (Φ_L).
- El factor de uniformidad de iluminación (U_g).

Para realizar el cálculo de las magnitudes mencionadas se emplean dos métodos el primero es el del método del flujo total y el segundo es el de punto por punto. El primero proporciona más rápido la iluminación media global mientras que el segundo permite el cálculo de la iluminación punto por punto de la calzada y por lo tanto donde la iluminación asume valores mínimos y máximos permitiendo de esta forma deducir el grado de uniformidad de la propia iluminación.

4.8.1. Método del flujo total

4.8.1.1. Altura de la instalación

Siendo conocida la anchura de la calzada (L) se define la altura de la instalación de los puntos de luz (h). Esta se halla condicionada por los siguientes factores:

- Potencia de la lámpara.
- Tipo de luminaria.
- Disposición de las unidades luminosas.

No son recomendables las alturas inferiores a los 8 metros, salvo en casos de alumbrado de vías residenciales, calles con arbolado y paseos junto a la orilla del mar o un lago.

4.8.1.2. Separación entre unidades

Definida la altura de instalación de los puntos de luz, se determina la separación entre los mismos (d).

Se debe tener en cuenta que en cuanto menor sea la separación d/h tanto mayor será el grado de uniformidad de iluminación. También se incrementa el costo de la instalación (por el mayor número de soportes y de luminarias). Por consiguiente la relación d/h está ligada a la calidad de la instalación que se quiere realizar.

4.8.1.3. Superficie a iluminar

$S = d * L (m^2)$ Para una disposición axial, unilateral y bilateral al tresbolillo.

$S = \frac{d*L}{2} (m^2)$ Para disposición bilateral pareada.

Siendo: d la separación entre las unidades luminosas y L la anchura de la calzada

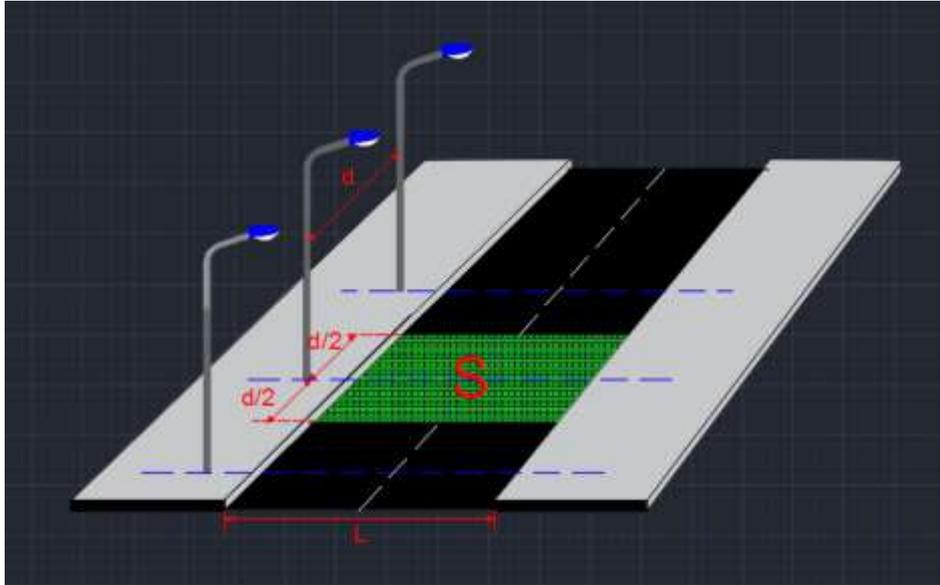


Figura 4.48 Representación de la superficie a iluminar, está señalada en color verde, también se muestra la separación entre luminarias (d), siendo ($d/2$) la mitad de la distancia entre luminarias.

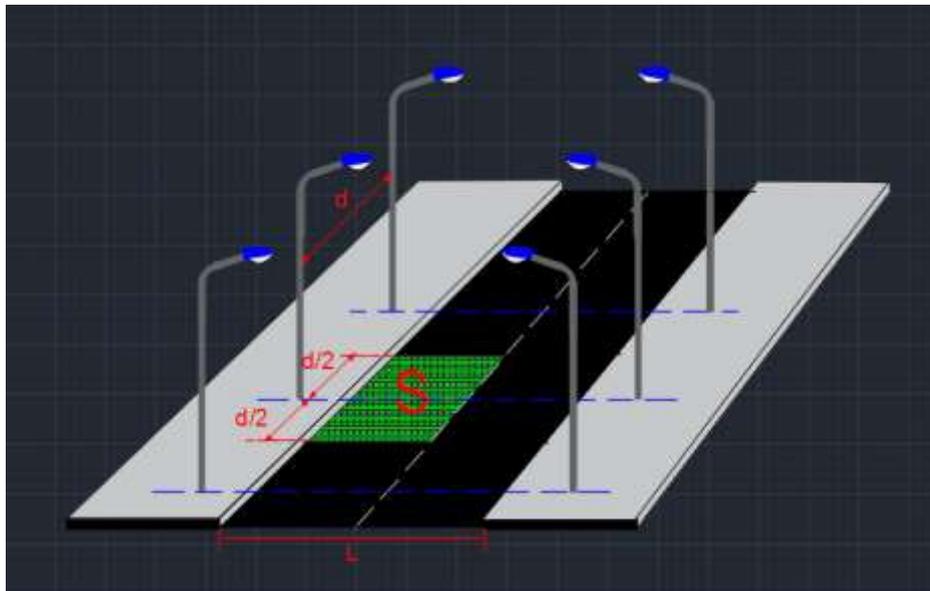


Figura 4.49 Se muestra de nuevo la superficie a iluminar, esta se reduce de la anterior ya que al existir la distribución Bilateral Pareada se requieren de doble luminaria por superficie aportando cada una en la superficie dividiéndola en dos partes por luminaria.

4.8.1.4. Flujo luminoso

Establecido el nivel medio de iluminación (E_m) se determina el flujo luminoso (Φ_t) emitido por cada uno de los centros luminosos.

$$\Phi_t = \frac{E_m * S}{\eta_u * K_d * K_m}$$

Siendo:

η_u - coeficiente de utilización, deducible a partir de las curvas facilitadas por el fabricante de luminarias.

K_d - coeficiente de depreciación: de las fuentes luminosas (0.85 para lámparas de sodio a baja presión, con ampolla fluorescente; 0.90 para lámparas de sodio a alta presión).

k_m - coeficiente de conservación: el coeficiente de conservación depende de la frecuencia con la que a los luminarios se les de limpieza o mantenimiento, así como la sustitución de las lámparas. Mientras más tiempo se tarde en darles mantenimiento, más pequeño será el coeficiente de conservación.

- En atmósfera limpia: 0.85 – 0.70 para aparatos del tipo abierto; 0.95 – 0.85 para aparatos del tipo cerrado.
- En presencia de polvo, humos, etc.: 0.70 para aparatos de tipo abierto, 0.75 – 0.65 para aparatos de tipo cerrado.

Una vez obtenido el flujo luminoso Φ_t se establece, en base al tipo de fuente luminosa, la potencia de la lámpara. Así, por ejemplo, si de cálculo resulta $\Phi_t = 5350 \text{ lm}$, de la tabla respectiva, relativa a las lámparas de vapor de mercurio con ampolla fluorescente, se puede observar que el valor más próximo es el de la lámpara de 125 W, que tiene un flujo luminoso de 6300 lm .

Adoptando una lámpara de dicha potencia, el nivel de iluminación (E_m) será superior al previsto en un principio y se podrá calcular fácilmente por medio de la anterior mente citada relación, debidamente despejada:

$$E_m = \frac{\Phi_L * \eta_u * K_d * K_m}{S}$$

Siendo Φ_L el flujo luminoso emitido por la lámpara.

Toda vez que $S = d L$ (o también $S = d L/2$ para la disposición bilateral pareada) se puede variar la separación manteniendo constante el nivel de iluminación. En dicho caso la separación entre unidades luminosas se convierten en:

$$d = \frac{\Phi_L * \eta_u * K_d * K_m}{E_m * L}$$

Finalmente si la desviación entre el flujo total calculado y el flujo emitido por la lámpara es notable, hay que modificar algún parámetro básico (por ejemplo, la altura o la separación), repitiendo los cálculos hasta que se llegue a un resultado satisfactorio, tanto para las exigencias luminotécnicas como para las económicas.

4.8.2. Método punto por punto

Para llevar a cabo los cálculos mediante este método, se precisa:

- Disponer de las curvas isolux de la luminaria prevista.
- Conocer la inclinación del brazo del báculo.
- Realizar una tabla (módulo de cálculo) en la que anotar los valores de iluminación obtenidos de las curvas isolux.

4.8.2.1. Curvas isolux

Las curvas isolux indican los puntos que en el plano de la vía tienen igual nivel de iluminación. Substancialmente se trata de una familia de curvas trazadas sobre un dibujo, donde se representa la distribución de la iluminación sobre la superficie.

4.8.2.2. Alturas y flujos convencionales

Convencionalmente se supone que la luminaria está instalada a un metro de altura. De este modo es posible utilizar la misma familia de curvas para cualquier altura de suspensión.

Siempre convencionalmente, se trazan las curvas isolux para un flujo de 1000 lumen. En efecto, cualquier fuente luminosa puede ser mejorada por el fabricante, se puede aumentar el flujo emitido con relación a la serie precedente, pero la validez de las curvas isolux permanece inalterada por cuanto bastará con tener en cuenta la nueva relación entre el flujo realmente emitido y el convencional.

Un pequeño dibujo esquemático, trazado en el mismo diagrama de las isolux, permite identificar la orientación de la luminaria con relación a la vía.

El punto de intersección de los dos ejes ortogonales (0 – 180°; 90 – 270°) localiza el centro óptico.

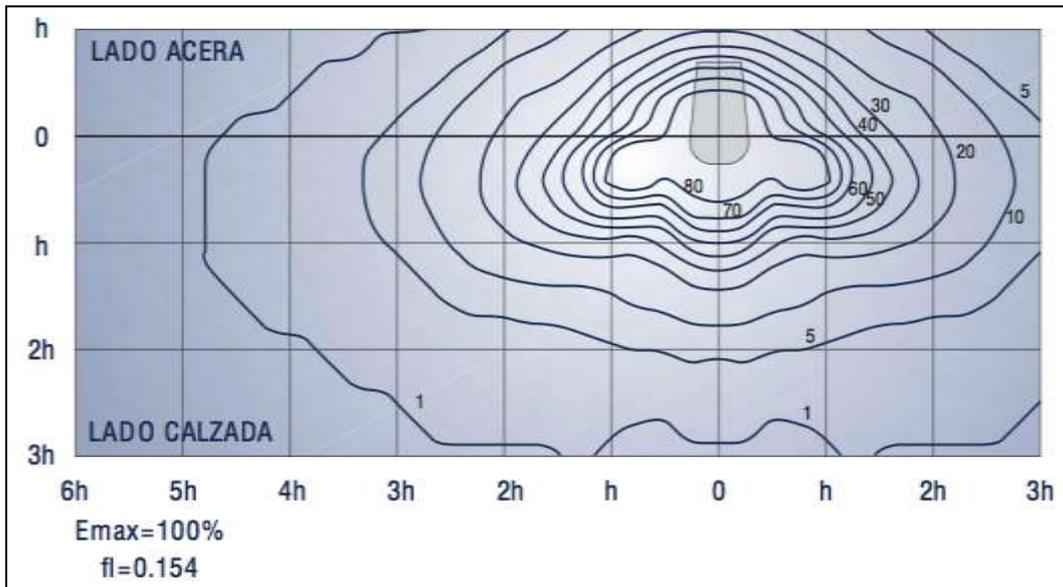


Figura 4.50 Curva Isolux

4.8.2.3. Aplicación del método punto por punto

- Primero se eligen los puntos de cálculo

Por medio de las curvas isolux es posible determinar el valor de la iluminación en cualquier punto de la calzada. Sin embargo, por razones prácticas, conviene considerar solamente un cierto número de ellos, por ejemplo 9, correspondientes a un área repetitiva (porción de la calzada cuyos puntos se repiten a los fines del alumbrado).

Ejemplo: considérese una instalación con las unidades luminosas en disposición unilateral. El área repetitiva está constituida por la mitad de la separación ($d/2$) por cuanto, debido a la simetría de la instalación, los valores de iluminación se repiten a derecha e izquierda del soporte considerado.

Algunos puntos caen sobre el borde de la calzada: estos son los más significativos para el cálculo del grado de uniformidad de la iluminación ($U_g = E_{min}/E_{max}$). De hecho, entre ellos se encontrarán, con seguridad, los valores mínimos y máximos de iluminación.

La iluminación media de la calzada se deduce de la media de los valores determinados para cada punto. Es preciso, no obstante, tener en cuenta la contribución que las luminarias A, B... etc. Pueden aportar al área repetitiva.

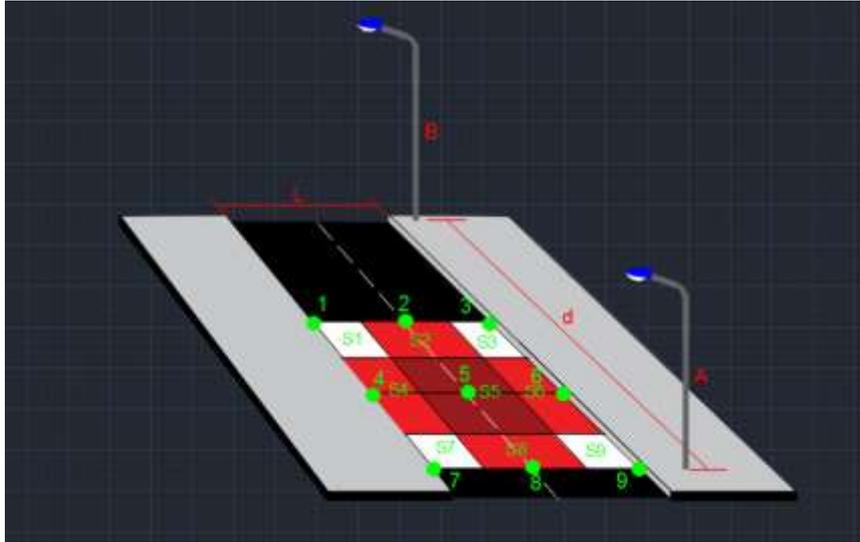


Figura 4.51

Representación de los nueve puntos seleccionados así como la superficie de cada uno con su traslape.

- Determinación de los valores de iluminación

Podemos observar en la imagen anterior, que el punto 1 visto desde la luminaria (A) forman un ángulo α .

La fórmula general que proporciona la iluminación horizontal en un punto escrita ya sea para la altura efectiva de suspensión (h) o para la altura de 1 metro (convencionalmente cuando suponíamos la altura de un metro y para un flujo de 1000 lumen en las curvas de isolux) es la siguiente:

$$E_h = \frac{I_\alpha * \cos \alpha^3}{h^2} \qquad E_{1m} = \frac{I_\alpha * \cos \alpha^3}{1^2}$$

Dónde: $E_h h^2 = I_\alpha * \cos \alpha^3 = E_{1m} 1^2$ nos queda $\rightarrow E_{1m} = E_h h^2$

De ello se desprende: la iluminación E_h por la altura efectiva de suspensión h en un punto cualquiera, o el valor de iluminación media real se pueden deducir de los valores de iluminación (E_{1m}) representados en las curvas isolux, o sea:

$$E_h = \frac{E_{1m}}{h^2}$$

Finalmente, puesto que los valores correspondientes a E_{1m} se determinan en función de un flujo equivalente a 1000 lumen, si el flujo efectivo emitido por la lámpara es Φ_L , el valor E_h se tendrá que referir a $\Phi_L/1000$. Por lo tanto, la fórmula definitiva será:

$$E_{real} = \frac{E_{1m} * \Phi_L}{1000 * h^2}$$

Ejemplo: si a un punto de la superficie considerada le corresponde la curva isolux de 50 lux, para una altura efectiva del montaje de la luminaria de 8 metros y empleado una lámpara de vapor de mercurio con ampolla fluorescente, de 250 W ($\Phi_L = 13700 \text{ lm}$), la iluminación real en dicho punto será:

$$E_{real} = \frac{E_{1m} * \Phi_L}{1000 * h^2} = \frac{50 * 13700}{1000 * 8^2} = 10.7 \text{ lux}$$

- Evaluación de la iluminación media E_m

Media aritmética: una vez obtenidos los valores de iluminación en los 9 puntos correspondientes a la calzada, se tiene:

$$E_m = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 + E_8 + E_9}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9}$$

Media ponderada: por “pesas” se entienden las superficies unitarias (o múltiplos) del área repetitiva.

La iluminación media del área repetitiva (S) se deduce mediante la conocida relación $E_m = \Phi/S$, siendo Φ el flujo que se proyecta sobre la superficie S. el flujo que alcanza cada área singular será, por lo tanto $\Phi_1 = E_1 * S_1$; $\Phi_2 = E_2 * S_2$ etc.

Habiendo elegido la subdivisión en 9 puntos, resulta que la superficie correspondiente a los puntos 1-3-7-9 tienen un área que es la mitad de la de los puntos 2-4-6-8 y un cuarto de la central, dentro de la que se ha colocado el punto 5 considerando las aéreas por separado tendremos:

$$E_m = \frac{E_1 S_1 + E_2 S_2 + E_3 S_3 + E_4 S_4 + E_5 S_5 + E_6 S_6 + E_7 S_7 + E_8 S_8 + E_9 S_9}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9}$$

Pero, de acuerdo con lo dicho anteriormente: $S_2 = 2S_1$; $S_3 = S_1$; $S_4 = 2S_1$; $S_5 = 4S_1$: etc., por lo que la relación indicada se simplifica:

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

El método punto por punto conjuntamente con la media ponderada, es la forma más correcta de cálculo de la iluminación media y el factor de uniformidad.

Recordemos finalmente que las iluminaciones están referidas siempre al suelo y no a 0.8-1m como en la iluminación de interiores, puesto que es a nivel del pavimento donde debe ser visto el objeto (piedra u otro obstáculo).

CAPÍTULO 5 Cálculo de iluminación en pasillo de la FESC

En este capítulo se realizarán los cálculos necesarios y la selección adecuada de la luminaria a utilizar, para la correcta iluminación de los pasillos que pretendemos iluminar.

Para realizar los cálculos de la iluminación utilizaremos el método del lumen.

5.1. Cálculo teórico con el método del Lumen o del flujo total

- Altura de la instalación

Como primer punto se necesita conocer la anchura de la calzada (L) y con esto se define la altura de la instalación de los puntos de luz (h). En nuestro caso la altura de la luminaria o del poste se encuentra ya establecida, ya que, en nuestro proyecto solo se realizará la sustitución de los luminarios o modernización. La altura de la luminaria es de 3 metros y la disposición es unilateral-estilo alameda. La potencia de la lámpara se seleccionará en los cálculos siguientes y el tipo de luminaria de LED.

- Separación entre unidades

Teniendo definida la altura de los puntos de luz se calcula la separación entre unidades por medio de la siguiente ecuación $S = d * L (m^2)$ despejando nos queda $d = \frac{S}{L} (m)$. En nuestro caso esto no será de esta forma ya que como lo hemos mencionado con anterioridad las unidades (postes) serán utilizados nuevamente y tienen una distancia de separación de: $d = 20 m$.

- Superficie a iluminar

Calcularemos la superficie a iluminar con la siguiente ecuación:

$$S = d * L (m^2)$$

$$S = 20 * 6 = 120 m^2$$

Dónde:

$S =$ superficie a iluminar

$d =$ separación entre luminarias

$L =$ anchura de la calle

- Flujo luminoso

Antes de calcular el flujo luminoso se establece el nivel medio de iluminación (E_m) que de acuerdo con la Secretaría del Trabajo y Previsión Social se tiene la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 el nivel de iluminación requerido para exteriores, desplazarse caminando, vigilancia y movimientos de vehículos es de: ($E_m = 20 \text{ lx}$). Una vez obtenidos los niveles necesarios de iluminación determinaremos el flujo luminoso que emite cada uno de los centros luminosos por medio de la siguiente ecuación:

$$\Phi_t = \frac{E_m * S}{\eta_u * K_m}$$

El nivel medio de iluminación es de $E_m = 20 \text{ lx}$;

➤ Coeficiente de utilización:

El coeficiente de utilización fue obtenido mediante el cálculo por medio de las hojas de especificación de la luminaria seleccionada a continuación se redacta este cálculo:

En la siguiente imagen se hace la relación de la anchura de la calle entre la altura del luminario tenemos que la altura del luminario es de 3m y la anchura es de la calle es de 6m por lo tanto:

$$\frac{\text{street width}}{\text{mounting height}} = \frac{\text{anchura de calle}}{\text{altura de montaje}} = \frac{6}{3} = 2$$

Buscamos en la las curvas de coeficiente de utilización: en número 2 el cual es señalado con el cuadro en rojo y se sigue hasta la intersección de las líneas en color amarillo en la curva de la gráfica dando como resultado el número aproximado de: 0.191; dado como es una curva para lado calle y lado casa y nuestra lámpara esta en medio de la calle o pasillo, entonces se tomara en cuenta la suma de las dos curvas para lo cual nos da el resultado de 0.388, dado que las dos curvas son iguales en esta parte de la intersección.

El coeficiente de utilización es de $\eta_u = 0.388$;

Nota: La lámpara fue seleccionada tanto por su estética como por que las hojas proporcionadas para calcular el coeficiente de utilización fueron facilitadas por el fabricante ya en que otras lámparas no cuentan con estas o es difícil encontrarlas.

Coefficients of Utilization

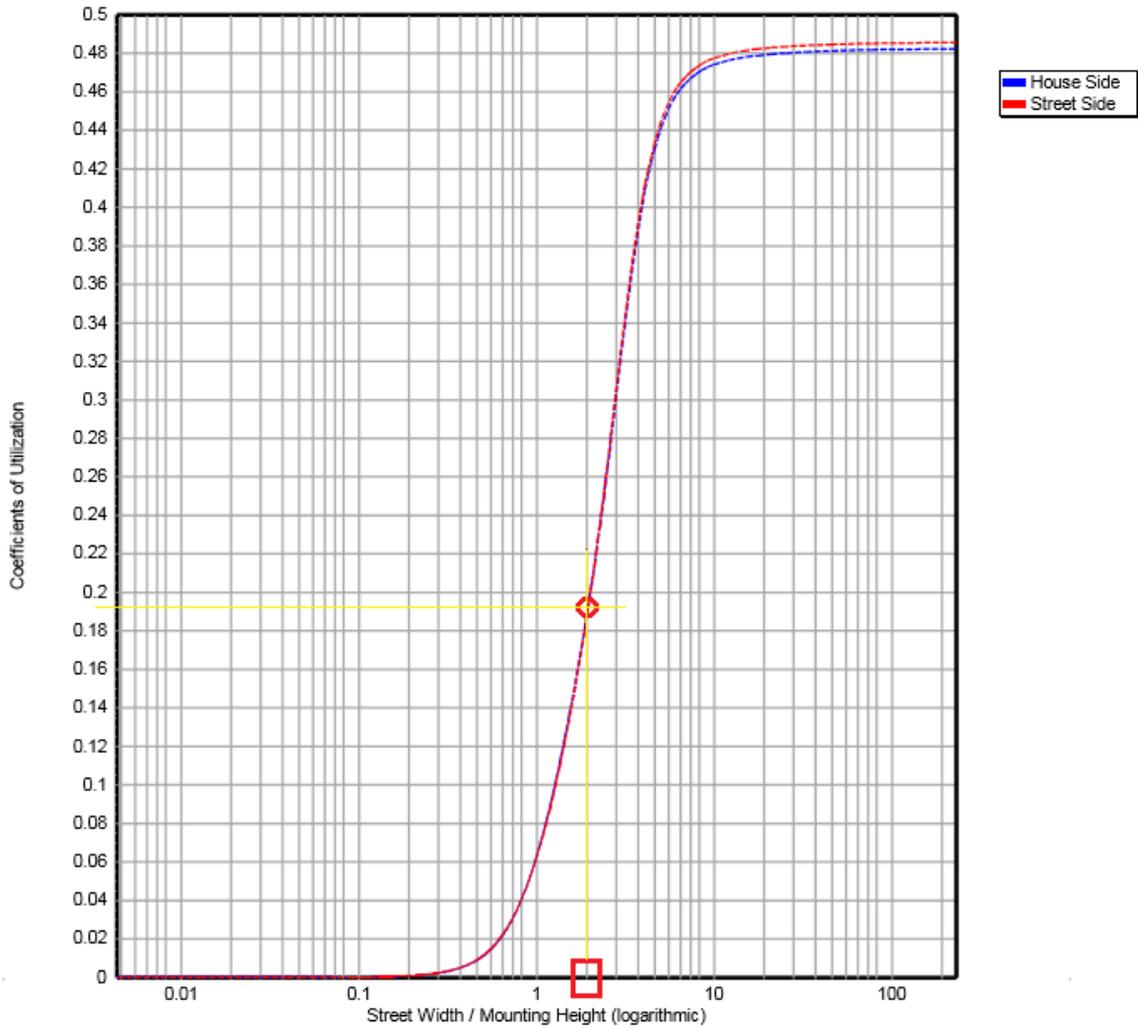


Figura 5.1 Curva para obtener el coeficiente de utilización

El coeficiente de conservación o de mantenimiento es de $k_m = 0.9$

Sustituyendo en la ecuación:

$$\Phi_t = \frac{20 * 120}{0.388 * 0.9} = 6872.85 \text{ Lm}$$

El flujo luminoso en algunos casos puede variar un poco cuando seleccionemos el luminario, ya que no siempre se encontrara exactamente los lúmenes requeridos, pero se debe de seleccionar los lúmenes más cercanos a los valores obtenidos.

En nuestro caso se seleccionarán 2 de las luminarias que ya habíamos escogido ya que solo cuenta con el máximo de 4970 lúmenes y con otra de 4185 lúmenes y se requiere alcanzar 6872.85, entonces usaremos 2 de 4970 lúmenes los cuales nos darán un total de 9940 lúmenes.

- Iluminación promedio utilizando valores seleccionados.

$$E_m = \frac{\Phi_L * \eta_u * K_m}{S} = \frac{9940 * 0.388 * 0.9}{120} = 28.92 \text{ lx}$$

Cumpliendo con los valores requeridos por la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008.

- Potencia del luminario

La potencia de la luminaria seleccionada es de 102W. Se observa en la tabla siguiente en el recuadro en color rojo.

Lamp technical information for L80 L81 L82									
LED = Philips Lumileds Rebel ES, CRI = 70, CCT = 4000K (+/- 350K)									
LED rated life = 100,000 hrs ¹ - Driver rated life = 50,000 hrs									
Lamp	Typical delivered lumens ²	Typical lamp wattage (W)	Typical system wattage ³ (W)	Typical current @ 120 V (A)	Typical current @ 240 V (A)	Typical current @ 277 V (A)	LED current (mA)	HPS equivalent ⁴	Luminaire Efficacy Rating (Lm/W)
40W49LED4K-ES	3100	42	47	0.39	0.20	0.17	285	70 W	66
65W49LED4K-ES	4185	65	72	0.60	0.30	0.26	428	100 W	58
90W49LED4K-ES	4970	90	102	0.85	0.43	0.37	571	150 W	49

Figura 5.2 Características eléctricas del luminario seleccionado

5.2. Cálculo de iluminación software Dialux

Ahora realizaremos los cálculos con ayuda de un software de iluminación, para poder comprobar que los valores obtenidos son correctos, primero se construye el escenario donde estará calculada el nivel de iluminación, en otras palabras la calle, con los respectivos postes. En cuanto a las luminarias, estas son seleccionadas mediante un archivo IES que es proporcionado por el fabricante para poder utilizar la luminaria en cualquier software.

Archivo I.E.S.



Figura 5.3 Archivo IES del luminario seleccionado.

El cálculo que realiza cualquier software, se hace mediante el cálculo punto por punto por lo que el cálculo es más preciso y en el podemos observar también los espacios donde los valores son más bajos.

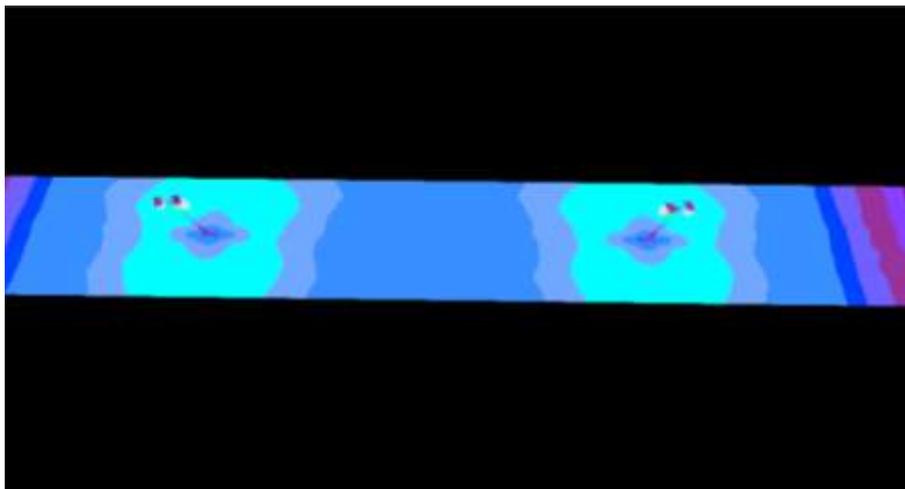


Figura 5.4 Curvas de valores de iluminación

En la imagen anterior podemos observar las curvas de distribución de la iluminación Figura 5.4, en el, cada color representa un determinado valor de luxes, para ello veremos la siguiente imagen (Figura 5.5) del software donde, encontramos el valor de luxes por cada color:



Figura 5.5 Valor de iluminación en cada color.

En la tabla tenemos valores que van desde los 0 luxes hasta 3000 luxes, y podemos corroborar que estamos dentro de los parámetros que por norma se requieren.

En la imagen podemos ver que en la zona de trabajo o el área a iluminar tenemos 3 curvas de 3 colores las cuales nos indican los luxes obtenidos en cada una de ellas, la primera y más cercana a los postes es la de color (azul turquesa) que nos indica 30 luxes con respecto a la tabla, la segunda curva que es la que menos grosor nos da de color gris es de 20 luxes con respecto a la tabla, y la última que se encuentra en mayor extensión y es de color azul es de 10 luxes.

Para asegurarnos de que el área de la curva de 10 luxes no nos afecta, ya que por norma necesitamos un mínimo de 20 luxes procederemos a realizar el cálculo de la relación de uniformidad.

- Relación de uniformidad.

Esta relación está descrita por la siguiente fórmula:

$$Uniformidad = \frac{E_{min}}{E_{prom}}$$

Donde:

$$E_{prom} = \text{Iluminación promedio}$$

$$E_{min} = \text{Iluminación mínima}$$

Por lo tanto:

$$Uniformidad = \frac{10 \text{ luxes}}{20 \text{ luxes}} = 0.5 \text{ o } 50\%$$

No existe un porcentaje estricto o norma para la relación de uniformidad, sin embargo se recomienda sea de mínimo un 40%.

Podemos visualizar otras perspectivas del escenario en las siguientes imágenes:

Se puede apreciar mejor la distribución de las curvas en la calle de la imagen siguiente.

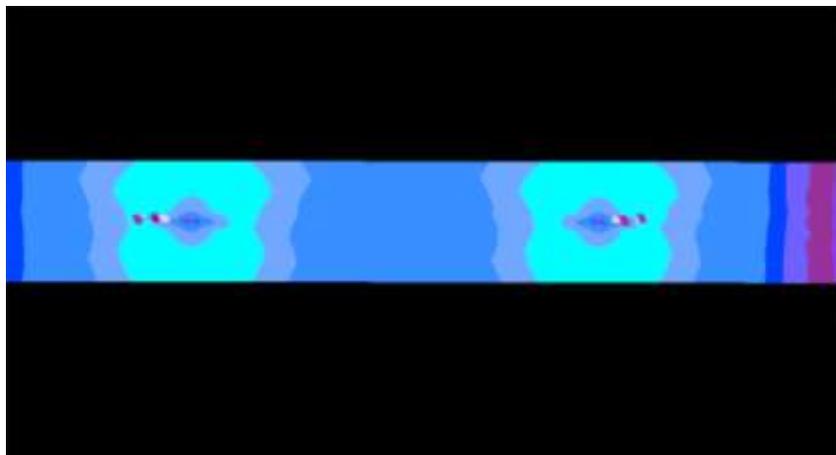


Figura 5.6 Vista desde arriba

La imagen siguiente es más realista en cuanto a la aplicación de la iluminación en la calle.

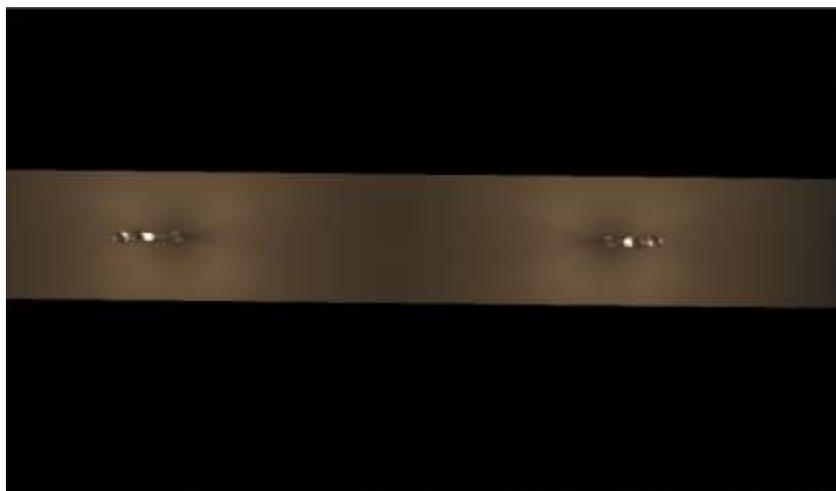


Figura 5.7 Vista desde arriba imagen realista.

Podemos observa desde otro ángulo la distribución de las curvas.

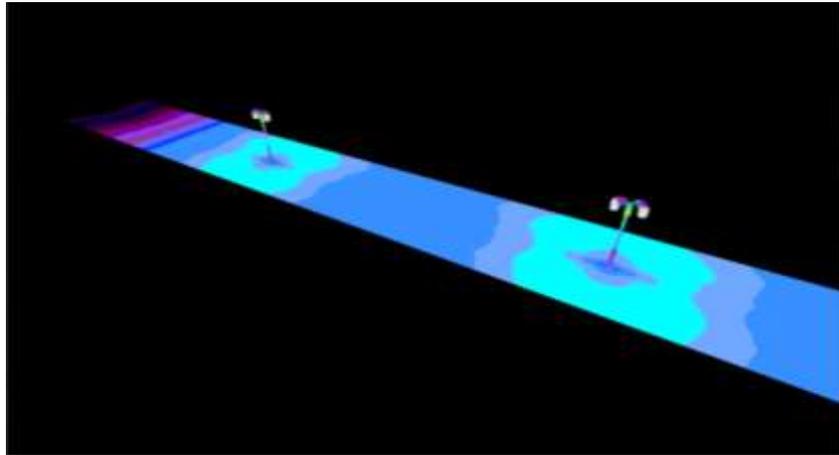


Figura 5.8 Vista desde otro ángulo.

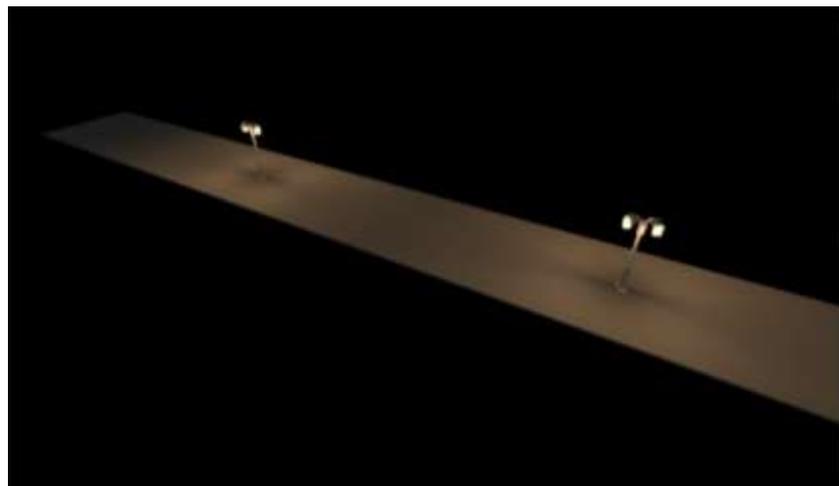


Figura 5.9 Vista desde otro ángulo 2.

En este ángulo la imagen es aún más real en cuanto a la aplicación.

De igual forma se puede llevar el escenario a un concepto más real, haciendo que pueda servir cuando se necesita tener una idea de cómo se verá la instalación y la iluminación en algunos proyectos, esto lo podemos observar en las siguientes imágenes.

Las imágenes que a continuación mostraremos son de la FESC Cuautitlán, y fueron creadas en el software, son una semejanza de cómo se vería la calle o pasillo donde se pretende cambiar de luminarias.

Se puede notar la diferencia que existe en la siguiente imagen, ya que se ve mucho más real.



Figura 5.10 Escenario más realista

De la misma forma en esta imagen con otro ángulo podemos ver que se aprecia el escenario de una mejor manera que en las imágenes que se presentaron anteriormente.



Figura 5.11 Escenario más realista 2.

Una vez que ya realizamos el cálculo teórico, y lo pudimos comprobar con el cálculo en el software que es mucho más preciso, podemos dar por terminado recordando que por norma se pedía 20 luxes como mínimo, y en calculo teórico obtuvimos 28 y en el software pudimos observar que estábamos entre ese rango que fue de 10 luxes hasta 30 luxes, corroborando con la relación de uniformidad el que no nos afectaran lo luxes mínimos obtenidos realizando el calculo que lo comprueba.

5.3. Ahorro económico de la instalación de alumbrado con luminarias LED en comparación con otro tipo de luminaria.

5.3.1. Luminaria LED en comparación con una luminaria Cosmowhite

➤ Eficiencia energética

Este tipo de eficiencia tiene como objetivo reducir el consumo de energía, dando un uso eficiente para producir más con menos energía y así tener retribuciones en costos y mayor aprovechamiento de algún equipo con el cual se pretende realizar dicho ahorro energético con su eficiencia.

6. Luminaria LED en comparación con una luminaria Cosmowhite

Característica/Tipo de luminaria	Cosmowhite(Lámpara de aditivos metálicos)	LED
Descripción	Alliance PGZ12	STREET VIEW
Nº de lámpara por luminario	1	1

Tabla 5.1 Descripción y tipo de luminaria

➤ Datos iniciales

Característica/Tipo de luminaria	Cosmowhite	LED
Lúmenes emitidos por luminaria	16500	16500
Vida útil de la lámpara (hrs)	30,000h	100,000h
Potencia (W) incluyendo equipo auxiliar	140W	90W
Numero de luminarias	20	20
Costo de energía en (kWh)	1.60	1.60
Horas emitidas de servicio por año	4015 hrs	4015 hrs

Tabla 5.2 Datos iniciales

➤ Costos principales

Característica/Tipo de luminaria	Cosmowhite	LED
Costo neto de cada luminaria	1,838.00	5,200.00
Costo neto adicional de accesorio	0.00	0.00
Costo estimado de los conductores y de instalación por cada luminaria (mano de obra por instalación luminaria)	300.00	300.00
Coto inicial neto por cada luminario, con lámpara (precio de catálogo, menos descuento, más impuesto)	2,132.08	6,032.00
Costo inicial por luminaria (costo inicial neto + accesorio + costo de mano de obra)	\$ 2,433.00	·\$ 6,332.00
Costo inicial total (Nº de luminarias x costo inicial total por luminaria)	\$ 48,660.00	\$ 126,640.00

Tabla 5.3 Costos iniciales del proyecto

➤ Gastos anuales fijos

Característica/Tipo de luminaria	Cosmowhite	LED
Costo inicial por luminaria (costo neto + accesorio + costo de mano de obra)	\$ 2,433.00	·\$ 6,332.00
Costo inicial total sin lámparas	\$ 48,660.00	\$ 126,640.00
Gastos anuales fijos	\$ 48,660.00	\$ 126,640.00

Tabla 5.4 Gastos anuales fijos

➤ Costo de funcionamiento en 10 años

Característica/Tipo de luminaria	Cosmowhite	LED
Numero de lámparas reemplazadas	20	0
Precio de lámpara + I.V.A.	\$ 580	\$ 0.00
Costo de lámparas reemplazadas	\$ 11,600.00	\$ 0.00
Costo total de accesorios reemplazados	\$ 0.00	\$ 0.00
Costo total de material repuesto	\$ 11,600.00	\$ 0.00
Costo de mano de obra para reemplazar una lámpara	\$ 300.00	\$ 300.00
Costo total de mano de obra por reposición de lámparas	\$ 6,000.00	\$ 0.00
Costo total de limpieza por luminaria	\$ 300.00	\$ 300.00
Numero de limpiezas en 10 años	2	2
Costo total de la limpieza	\$ 12,000.00	\$ 12,000.00
Costo total de entretenimiento	\$ 29,600.00	\$ 12,000.00
Costo total de la energía	\$ 179,872.00	\$ 115,632.00
Costo en 10 años de conservación	\$ 209,472.00	\$127,632.00

Tabla 5.5 Coto de funcionamiento en 10 años

➤ Costo en funcionamiento en 20 años

Característica/Tipo de luminaria	Cosmowhite	LED
Numero de lámparas reemplazadas	40	0
Precio de lámpara + I.V.A.: \$	\$ 580	\$ 0.00
Costo de lámparas reemplazadas	\$ 23,200.00	\$ 0.00
Costo total de accesorios reemplazados	\$ 0.00	\$ 0.00
Costo total de material repuesto	\$ 23,200.00	\$ 0.00
Costo de mano de obra para reemplazar una lámpara	\$ 300.00	\$ 300.00
Costo total de mano de obra por reposición de lámparas	\$ 12,000.00	\$ 0.00
Costo total de limpieza por luminaria	\$ 300.00	\$ 300.00
Numero de limpiezas en 10 años	4	4
Costo total de la limpieza	\$ 24,000.00	\$ 24,000.00
Costo total de entretenimiento	\$ 59,200.00	\$ 24,000.00
Costo total de la energía	\$ 359,744.00	\$ 231,264.00
Costo en 20 años de conservación	\$ 418,944.00	\$ 255,264.00

Tabla 5.5 Coto de funcionamiento en 20 años

➤ Costos totales y ahorro

Costo en 10 y 20 años	Cosmowhite	LED	Ahorro con luminarias LED
Inversión	Inversión: \$48,660.00	Inversión: \$126,640.00	\$ 0.00
Costo total por 10 años	Inversión: \$48,660.00 Mantenimiento, gasto de energía y reemplazo: \$209,472.00 Total: \$258,132.00	Inversión: \$126,640.00 Mantenimiento, gasto de energía y reemplazo: \$127,632.00 Total: \$254,272.00	\$ 3,860.00
Costo total por 20 años	Inversión: \$48,660.00 Mantenimiento, gasto de energía y reemplazo: \$418,944.00 Total: \$ 467,604.00	Inversión: \$126,640.00 Mantenimiento, gasto de energía y reemplazo: \$255,264.00 Total: \$ 381,904.00	\$ 85,700.00

Tabla 5.6 Costo total y ahorro en 10 y 20 años en comparación de estas dos luminarias.

Los gastos calculados solo fueron de mano de obra, de reemplazo y limpieza, no se contemplaron otros costos como: reposición de otros accesorios como lo serian los brazos, postes, balastos, y tampoco el cálculo de precios de los conductores lo anterior incrementaría el precio, pero tan solo en comparación en horas de vida y mantenimiento ya se ahorra más con las Luminarias LED.

Nos podemos dar cuenta con los gastos y costos de las tablas anteriores que aun que sea a largo plazo el ahorro económico-energético con las luminarias LED es mayor que con las luminarias del tipo Cosmowhite.

RESULTADOS:

Se logró obtener el nivel de iluminación deseado, utilizamos el método del lumen también llamado el método del flujo total de manera teórica, pudimos también comprobar con el software de iluminación Dialux el cual realiza el cálculo con el método de punto por punto, siendo este más preciso, aparte de ilustrativo. Se seleccionó una luminaria adecuada que nos permitió además de obtener el nivel, el poder visualizar junto con el software su distribución, curvas y realizar un paisaje más real en cuanto al lugar donde se propone a ser utilizada.

Tuvimos la oportunidad de también poder comprobar que las luminarias LED son más eficientes, en comparación de otra luminaria, y lo corroboramos comparando la vida útil, y otras consideraciones más en estas, y con ello podemos tener un ahorro energético, que nos permite tener además un ahorro económico, con menor consumo de energía, con menor número de sustituciones, con más tiempo de vida, menor cantidad de mantenimiento, y con una calidad de iluminación superior en comparación a otros tipos de luminarias. También logramos obtener conocimientos acerca de la tecnología de luminarias LED, así como de los componentes que lo conforman.

CONCLUSIONES:

Ahora tenemos claro cuál es la necesidad de la iluminación, así también como podemos satisfacerla, y como utilizar las herramientas necesarias para poder hacerlo, al menos a fondo en una de sus clasificaciones, con lo cual también es suficiente para poder abordar cualquiera de las demás, ya sea en interiores o exteriores.

Tenemos también el conocimiento necesario para poder determinar, que luminaria es necesaria en cualquier proyecto, ya que conocemos las características de varias de ellas y en donde son útiles. También sabemos que la luminaria LED es eficiente en comparación de otras, no son contaminantes, además de que conocemos también sus inconvenientes y podemos hacer uso de ello en algunos casos.

Todo lo anterior también nos prepara para casi cualquier proyecto, teniendo los principios básicos vistos en los primeros capítulos, así como en los últimos donde se puede tener una idea de un presupuesto donde tan solo nos falta incluir algunas cosas, pero nos permitió ver cómo sería una inversión y ver también que nos conviene más ya en un proyecto a llevar a la práctica.

Ahora cuando sea necesaria la selección de una luminaria LED para cualquier tipo de proyecto, sabemos que son muy eficientes y que lo hemos comprobado, por lo que será más fácil el realizar cálculos que lo demuestren. Brindando una demostración preliminar con un software que garantiza que los niveles serán los correctos, demostrando el conocimiento en los estudios de iluminación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ingeniero Omar R. Scaramal (2007) Luz. Evolución Arte Técnica. Dunken Buenos Aires.
2. José Roldan Vilorio (2007) Alumbrado Eléctrico y sus Instalaciones
3. VV.AA. (2003) Iluminación y Seguridad Laboral. MAPFRE SA España.
4. Fernando Martínez Domínguez (2003) Instalaciones Eléctricas de Alumbrado e Industriales. Paraninfo España.
5. Vitorio Re (1993) Iluminación Externa. SA Marcombo España.
6. Alfred Sa. (2012) Aplicaciones del LED en Diseño de Iluminación. SA Marcombo España.
7. Jorge Fraile Vilarrasa y Alfonso Gago Calderón (2012). Iluminación Con Tecnología LED. Paraninfo España.
8. Jorge Chapa Carreón (2004) Manual de instalaciones de alumbrado y fotometría. Limusa Mexico.
9. Black & Decker (2009) La Guía Completa sobre Instalaciones Eléctricas. Creative Publishing Exico.
10. Julian Moreno Clemente (1993) , Instalaciones Eléctricas de Alumbrado Público. Autor-Editor España.
11. Westinghose () Manual del Alumbrado Limusa Noriega Editores. España

1.- © Javier Garcia Fernandez, Oriol Boix, **Imágenes reflexión de a luz**

(Disponible en: http://recursos.citcea.upc.edu/llum/luz_vision/luz.html)

2.- Heraeus Noblelight, Laboratorio de medición. **Imagen Esfera de Ulbricht**.
(Disponible en https://www.heraeus.com/es/hng/service_and_consulting/measurement_lab.aspx)

3.- © Maviju S.A. **imagen, índice de reproducción cromática de luminarias**,
(disponible en: <http://maviju.com/productos/iluminacion-led/cri-indice-de-reproduccion-cromatica/>).

4.- Pol. Ind. "El Polígono" - C/ Río Ebro, nave 1 - 50410 Cuarte de Huerva Zaragoza (Spain) [+34] 976 502 219 –**Imagen de curva de haz abierta** (disponible en: http://www.ilusyon.es/index.php?modulo=grupos&accion=grupo_completo&id=99&id_oma=es)

- 5.- ILUSYON LIGHTING **Imagen a) Distribución concentrada** (disponible en: http://www.ilusyon.es/index.php?modulo=grupos&accion=grupo_completo&id=73&idoma=es).
- 6.- Direct Industry, Salón online de equipos y componentes industriales, **imagen luxometro** (disponible en: https://www.google.com.mx/search?dcr=0&source=hp&q=directindustry.es&oq=.directindustr&gs_l=psy-ab.1.0.0i30k116j0i10i30k1j0i30k113.2295.9497.0.11012.2.2.0.0.0.127.241.0j2.2.0....0..1.1.64.psy-ab..0.2.240....0.BOGUt6Bcuv4).
- 7.- I.C.T, S.L. INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA, S.L. **Imagen luminancimetro**, (disponible en: <http://www.ictsl.net/productos/aparatos/luminancimetromavomonitorusb.html>)
- 8.- © RedAgrícola Chile, **imagen de armaduras de luminarias**, (disponible en: <http://www.redagricola.com/tecnologia-reducir-costos-luminarias-induccion-magnetica-2/>)
- 9.- © 2017 MasTiposde.com. **Imagen de lámpara incandescente** (disponible en: http://www.mastiposde.com/lamparas_incandescentes.html)
- 10.-SHOPTRONICA, **Imagen de Casquillo Bayoneta** (disponible en: <http://www.shoptronica.com/bases-portalamparas-casquillos/2215-casquillo-ba15.html>)
- 11.-SHOPTRONICA, **Imagen de Casquillo Roscado** (disponible en: <http://www.shoptronica.com/casquillos-y-bases-de-lamparas/2214-casquillo-roscae27.html>)
- 12.- NABETSEFERRETER, **imagen tipos de lámparas incandescentes** (Disponible en <http://nabetseferretera.com/?nr=0>)
- 13.- GT Sistema de Alumbrado, **Imagen Lámpara halógena** (disponible en: <https://sites.google.com/site/gtsistemadealumbrado/Home/4--elementos-de-faros/4-1-lamparas/4-1-1--clasificacion-de-las-lamparas/lamparas-halogenas>)
- 14.- Tecnología, **imagen de función tubo fluorescense**, (disponible en: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/tubos-fluorescentes.html>)
- 15.- ACORDE Verde © Copyright 2015, **imagen de formas de tubos fluorescentes** (disponible en: <http://www.acordeverde.com/tecnologias-eficientes-para-la-gestion-energetica>)
- 16.-Philips, **imagen Lámparas de dos y cuatro patillas** (<http://www.lighting.philips.com.co/productos/lamparas-profesionales>).
- 17.- Philips, **imagen Lámparas compactas integrales** (disponible en: <http://www.clickelectricidad.com.ar/site/lamparas-fluorescentes-compactas-philips/>).

- 18.- ULHI **imagen Lámpara de vapor de mercurio** (disponible en: http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI03/es_IEA_IEI03_Contenidos/website_23_1mparas_de_vapor_de_mercurio_a_alta_presin.html).
- 19.- TERVERAS, **imagen Lámpara de vapor de sodio de baja presión** (disponible en: <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>).
- 20.- TERVERAS, **imagen Lámparas de vapor de sodio de alta presión** (disponible en: <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>).
- 21.- CAPUTO RACING PERFORMANCE, **imagen de Accesorio lámpara de automóvil** (disponible en: <http://www.caputoracingperformance.com/Iluminacion-Pag-2.html>).
- 22.- PINTEREST, **imagen de aplicación del LED en interiores** (disponible en: <https://www.pinterest.com.mx/lumilum/led-lighting-for-office-retail/>).
- 23.- ESEFICIENCIA.ES, **imagen de aplicación del LED en exteriores** (disponible en: <https://www.eseficiencia.es/2013/09/17/el-ayuntamiento-de-tarragona-presenta-una-nueva-iluminacion>).
- 24.- ACUARIO DE ARRECIFE, **imagen de Disipadores de calor** (disponible en: <http://www.acuariodearrecife.com/imagenes/equipos/iluminacion/>).
- 25.- SOCELEC, S.A., **imagen Óptica plana** (disponible en: <https://www.construnario.com/catalogo/socelec-sa/noticias#>).
- 26.- SCHREDER, **imagen Reflectores fuente** (disponible en: <http://www.schreder.com/en/products/neosled-road-urban/>).
- 27.- SCHREDER, **imagen Concepto 3D** (disponible en: <http://www.schreder.com/es-CL/productos/omniblast/>).
- 29.- ©2013 Smart-Lighting / Información y Noticias sobre iluminación, **imagen Driver 150 W** (disponible en: <http://smart-lighting.es/nuevo-led-driver-alta-tension-corriente-constante-pfc-meanwell/>).
- 30.- THUNDER, **imagen Algunos tipos de luminarias** (disponible en: <http://war-thunder-sajt.ru/luminarias-y-alumbrado-publico.html>).
- 31.- AYUDAHISPANO, **imagen Partes de un luminario** (disponible en: http://ayudahispano-3000.blogspot.mx/2016/04/curso-de-iluminacion_1.html).
- 32.- MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, **Tablas de grado de protección IP en luminarias** (disponible en: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/guias/guia_bt_anexo_1_sep03R1.pdf).

- 33.-AMAZON, **imagen Soporte tipo candelabro** (disponible en: <https://www.amazon.com/Paradise-GL23716BK-Cast-Aluminum-Solar-Powered-Streetlight-Style/dp/B00378K7GO>).
- 34.- COPYRIGHT © 1995-2017 EBAY INC, **imagen Soporte tipo báculo** (disponible en: https://www.ebay.com/itm/Best-10-Pcs-Streets-Lamp-LED-Lights-Lamppost-Model-Railway-Street-Lighting-X0V2-/322200744940?_ul=CR).
- 35.- CONSTRUMATICA, **imagen Soporte tipo ornamental** (disponible en: http://www.construmatica.com/producto/brazo_pared_columna_villa/5818).
- 36.-ARCHIEXPO, **imagen Soporte tipo moderno** (disponible en: <http://www.archiexpo.it/prod/lamp-lighting/product-2796-768301.html>).
- 37.-LIKINORMAS, **imagen Poste metálico** (disponible en: http://likinormas.micodensa.com/Especificacion/postes/et204_postes_metalicos_alumbrado_publico_documento_preliminar).
- 38.-PHILIPS, **imagen Tipos de brazo** (disponible en: <http://www.archiexpo.es/prod/philips-lighting/product-10967-410550.html>).
- 39.-LAMPARAS Y LUMINARIAS, **imagen Tipos de brazo** (disponible en: <http://lamparasy luminarias.com.mx/luminarias-leds/>).
- 40.-PINTEREST, **imagen Postes con brazo incorporado** (disponible en: <https://www.pinterest.com.mx/pin/190417890473429730/>).
- 41.-PINTEREST, **imagen Postes con brazo incorporado** (disponible en: <https://tudoe.files.wordpress.com/2014/08/poste-de-jardim-13.jpg>).
- 42.-PINTEREST, **imagen Montajes en suspensión** (disponible en: <https://www.pinterest.se/pin/543880092474004984/>).
- 43.-SASAKI, **imagen Montajes en suspensión** (disponible en: <http://www.sasaki.com/blog/view/600/>).
- 44.-LED'S MAGAZINE, **imagen distribución Axial en una calle** (disponible en: <http://www.ledsmagazine.com/ugc/2016/09/14/new-lighting-solution-from-v2-lighting-group-brings-highquality-led-luminaires-to-modern-catenary-ap.html>).
- 45.- PINTEREST, **imagen distribución Biaxial en una calle** (disponible en: <https://www.pinterest.com.mx/pin/502081058428051062/>).
- 46.- TELEPRENSA, **imagen distribución unilateral al tres bolillo** (disponible en: <http://www.teleprensa.com/honduras/alumbrado-publico-led-ahorro-y-eficiencia-para-ciudades-inteligentes.html>).
- 47.-CIFRAS, **imagen Bilateral al tresbolillo en una calle** (disponible en: <http://www.cifrasonline.com.ar/cifras/index.php/content/view/full/27700>).

48.-PICHOST, **imagen distribución Bilateral pareada en una calle** (disponible en: <http://pichost.me/1383180/>).

49.-BRILLANTE ILUMINACIÓN, **imagen distribución Doble central en una calle** (disponible en: <http://brillanteiluminacion.mx/blog/nueva-luminaria-led-para-el-alumbrado-publico/>).

50.-SCHRÉDER, **imagen distribución Estilo Alameda en una calle** (disponible en: <http://www.schreder.com/en-us/projects/plazadearmas-buin>).

51.- DesideMX, **imagen distribución de luminarias en grupo en un estacionamiento** (disponible en: <http://www.deside.mx/iluminacion-industrial/>).

52.-PHILIPS, **imagen Luminarias a los extremos del boulevard** (disponible en: <http://www.lighting.philips.com/main/systems/connected-lighting/connected-lighting-for-smart-cities>).

53.- SUPRA DESARROLLOS © 2017, **imagen Luminarias en el centro del boulevard** (disponible en: <http://www.supradesarrollos.com/un-vistazo-al-alumbrado-publico-actual/>).

54.- SCHÉDRER, **imagen Luminarias en el centro con poste cada una** (disponible en: <http://www.schreder.com/de-ch/news/schreder-lights-a2-motorway-in-netherlands-widest-motorway-in-world-to-be-lit-by-led-luminaires>).