



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN
ÓPTIMO Y EFICIENTE PARA LAS OFICINAS DE
UNICA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA:

ALBERTO RANGEL GUERRERO

DIRECTOR DE TESIS

M EN I CÉSAR ENRIQUE BENÍTEZ JOYNER



CIUDAD UNIVERSITARIA 2009

Dedicatoria

*¡A mi madre, a mis hermanos y a la mujer que
amo!*

Agradecimientos

Gracias a mi madre por acompañarme de principio a fin en este sueño, gracias por ser la persona que me dio de desayunar durante todos los días de clases, gracias por ser la persona que me espero hasta altas horas de la noche, gracias por darme palabras de apoyo, gracias por darme el amor más sincero del mundo, gracias por darme la vida, gracias por ser mi madre.

Gracias a mi novia por estar conmigo durante todo el desarrollo de este trabajo, gracias por escucharme, gracias por apoyarme, gracias por darme tu amor.

Gracias a mi hermanita Maricela y a mi hermanito Juan José por ser un motor de inspiración para lograr mis metas.

Gracias a mis abuelitos por darme su cariño y por ser un ejemplo de lucha y de entrega.

Gracias a mis tías y tíos (Magos, Eli, Eufemia, Angélica y Juan) por brindarme su cariño, amistad y apoyo durante toda mi vida.

Gracias a todas mis primas y primos (Amairani, Navyl, Magaly, Carmelita, Sebastián, Bianca, Fer, Dario, Ana, Yadira, Jazmín, Janet,...) por depositar su confianza en mí.

Gracias al cofito y a la peny lane por ser mis amigos incondicionales.

Gracias a toda mi familia.

Gracias a mis amigos Verito, Duran y Dumi por estimularme para realizar este trabajo.

Gracias a todos mis amigos que a lo largo de mi vida me han brindado su más sincera amistad: Duran, Dumi, Juan Carlos, Erick, Pato, Ale, Arlenee, Ibeth, Eve, Faby, Main, Andy, Pepe, Yadira, Verito, Gamar, Rey Mysterio, Hunter, Palmita, Norberto,

Gracias a la gloriosa Facultad de Ingeniería y a la honorable Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme ser universitario.

Gracias a la Unidad de Servicios de Cómputo Académico (UNICA) por abrirme sus puertas, por brindarme sus conocimientos y por darme su calor de hogar.

Gracias a la Ingeniera Beatriz Barrera Hernández por permitirme ser parte de esta hermosa familia denominada UNICA.

Gracias a la Ingeniera María del Rosario Barragán Paz por darme la confianza necesaria para formar parte de su equipo de trabajo, por siempre darme una sonrisa, por siempre darme un buen consejo, por siempre darme su amistad.

Gracias al Maestro en Ingeniería César Enrique Benítez Joyner por guiarme en la realización de este trabajo, por darme su confianza, por tenerme paciencia y por ser más que un asesor de tesis un buen amigo.

Gracias al Ingeniero Alex Ramírez Rivero por ser una fuente de inspiración para ser un Ingeniero de excelencia.

Gracias a todos los seres humanos que han sido, son y serán parte de mi vida.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	2
CAPÍTULO 1: SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	4
1.1 Definición de sistema de iluminación.....	4
1.1.1 Sistema.....	4
1.1.2 Sistema de iluminación.....	4
1.1.3 Componentes de un sistema de iluminación.....	4
1.2 Lámparas.....	5
1.2.1 Principios de funcionamiento.....	5
1.2.2 Clasificación de lámparas.....	8
1.2.3 Lámparas incandescentes convencionales.....	9
1.2.4 Lámparas incandescentes halógenas.....	12
1.2.5 Lámparas de descarga en atmósfera gaseosa.....	14
1.2.6 Lámparas fluorescentes.....	15
1.2.7 Lámparas fluorescentes compactas.....	19
1.2.8 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión.....	21
1.2.8.1 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión de luz mixta.....	24
1.2.8.2 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión de aditivos metálicos (halogenuros metálicos).....	25
1.2.9 Lámparas de vapor de sodio baja presión.....	27
1.2.10 Lámparas de vapor de sodio alta presión.....	30
1.2.11 Diodo emisor de luz (LEDS).....	31
1.3 Balastos.....	33
1.3.1 Definición.....	33
1.3.2 Funciones.....	33
1.3.3 Clasificación.....	34
1.3.4 Balastos para lámparas fluorescentes.....	34
1.4 Dispositivos de control.....	36
1.4.1 Introducción.....	36
1.4.2 Estrategias de control.....	36
1.4.3 Tipos de controles.....	37
1.4.4 Dispositivos de encendido-apagado.....	37
1.4.5 Dispositivos de nivel.....	39
1.4.6 Dispositivos de control por microprocesadores.....	39
1.5 Luminarios.....	40
1.5.1 Clasificación de luminarios según características ópticas.....	41
1.5.2 Clasificación de luminarios según características mecánicas.....	44
1.5.3 Clasificación de luminarios según características eléctricas.....	45
1.5.4 Luminarios para lámparas incandescentes.....	45
1.5.5 Luminarios para lámparas fluorescentes.....	46

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	48
2.1 Introducción.....	48
2.2 Clasificación de los sistemas de iluminación.....	49
2.2.1 Sistema de iluminación general.....	49
2.2.2 Sistema de iluminación general localizada.....	50
2.2.3 Sistema de iluminación localizada.....	50
2.3 Parámetros básicos para el cálculo de iluminación.....	51
2.3.1 Parámetros arquitectónicos.....	51
2.3.2 Coeficientes.....	52
2.4 Método de los lúmenes.....	54
2.4.1 Método de cavidad zonal.....	56
2.4.1.1 Semblanza.....	56
2.4.1.2 Fundamentos teóricos.....	56
2.4.1.3 Fundamentos matemáticos.....	57
2.4.1.4 Procedimiento.....	59
2.5 Método de punto por punto.....	64
2.5.1 Fundamentos teóricos y matemáticos.....	64
2.6 Método por computadora.....	68
 CAPÍTULO 3: ILUMINACIÓN ACTUAL EN UNICA (CASO BASE).....	 69
3.1 Análisis arquitectónico.....	70
3.1.1 Dimensiones.....	72
3.1.2 Reflexión en techo, paredes y piso.....	80
3.2 Análisis lumínico.....	81
3.2.1 Equipo instalado.....	81
3.2.2 Cálculo del nivel de iluminación.....	87
3.2.3 Niveles de iluminación.....	90
3.2.4 Uniformidad de la iluminación.....	95
3.2.5 Resumen de la iluminación actual en UNICA.....	96
3.3 Análisis eléctrico y energético.....	97
3.3.1 Tarifa eléctrica.....	97
3.3.2 Carga eléctrica conectada.....	99
3.3.3 Eficacia del sistema.....	101
3.3.4 Eficiencia del sistema.....	104
3.4 Análisis económico.....	106
3.4.1 Costo eléctrico.....	106
3.4.2 Costo de operación.....	110
3.5 Análisis ecológico.....	112
4.5.1 CEE: Coeficiente Eléctrico de Emisión de GEI.....	112
4.5.2 Dióxido de Carbono emitido.....	112
 CAPÍTULO 4: SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO PARA UNICA....	 113
4.1 Actividades en las oficinas de UNICA.....	114

4.2 Características del sistema de iluminación propuesto.....	115
4.3 Propuesta arquitectónica.....	116
4.3.1 Plafón propuesto.....	116
4.3.2 Vista lateral general.....	117
4.3.3 Resumen arquitectónico.....	117
4.4 Equipo propuesto.....	119
4.4.1 Lámpara.....	119
4.4.2 Balastro.....	120
4.4.3 Sistema de control.....	121
4.4.4 Luminario.....	122
4.5 Distribución propuesta de los luminarios.....	123
4.6 Análisis lumínico.....	127
4.7 Análisis eléctrico y energético.....	133
4.7.1 Carga eléctrica conectada.....	133
4.7.2 Eficacia del sistema.....	135
4.7.3 Eficiencia del sistema.....	137
4.8 Análisis económico.....	139
4.8.1 Costo de la inversión.....	140
4.8.2 Costo eléctrico.....	142
4.8.3 Costo de operación.....	146
4.9 Análisis ecológico.....	147
4.9.1 CEE: Coeficiente Eléctrico de Emisión de GEI.....	147
4.9.2 Dióxido de Carbono emitido.....	147
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	148
CONCLUSIONES.....	153
ANEXO 1: CONCEPTOS BÁSICOS.....	155
A1.1 Conceptos básicos eléctricos.....	155
A1.1.1 Carga eléctrica.....	155
A1.1.2 Intensidad de corriente eléctrica.....	156
A1.1.3 Voltaje.....	157
A1.1.4 Energía eléctrica.....	158
A1.1.5 Potencia eléctrica.....	159
A1.1.6 Resistor.....	160
A1.1.7 Ley de Ohm.....	161
A1.2 Conceptos básicos de iluminación.....	162
A1.2.1 Espectro electromagnético.....	162
A1.2.2 Luz.....	163
A1.2.3 Flujo luminoso Φ	164
A1.2.4 Intensidad luminosa I	165
A1.2.5 Iluminancia E	166
A1.2.6 Luminancia L	167

A1.2.7 Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.....	168
A1.2.8 Temperatura de color.....	169
A1.2.9 Índice de rendimiento de color (IRC).....	170
A1.2.10 Eficacia luminosa.....	171
A1.2.11 Eficiencia.....	171
ANEXO 2: NOM-025-STPS-2008.....	172
ANEXO 3: ACRÓNIMOS, SIGLAS Y UNIDADES.....	173
ANEXO 4: ÍNDICE DE FIGURAS.....	174
ANEXO 5: ÍNDICE DE TABLAS.....	177
BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA.....	180

INTRODUCCIÓN

La luz ha sido de vital importancia para la humanidad, y desde el descubrimiento de la electricidad, la luz artificial es fundamental para la realización de todas las actividades del hombre actual:

- ❖ Vivir
- ❖ Trasladarse
- ❖ Asociarse
- ❖ Trabajar
- ❖ Estudiar
- ❖ Divertirse
- ❖ Vivir
- ❖ Y más

Todas estas actividades requieren de una iluminación adecuada para que se puedan ejecutar de forma óptima, pero no siempre las personas se preocupan por generar una iluminación de calidad.

El implementar un *sistema de iluminación* es un trabajo que engloba diversos aspectos que se deben considerar, si se desea obtener un resultado idóneo.

El objetivo que se debe de tomar en cuenta para el diseño de un sistema de iluminación es:

Generar la luz óptima para la tarea que se va a desempeñar en el área de trabajo; una vez que se ha contemplado, se debe buscar que el diseño impacte de la mejor manera en aspectos como el eléctrico, económico y ecológico.

Para lograr las metas que debe cumplir un sistema de iluminación es fundamental tener presente que la producción de luz artificial es el resultado de un conjunto de elementos interrelacionados, por lo que el comportamiento de cada uno de estos tiene un efecto sobre el comportamiento de todo el sistema; en otras palabras, se debe tener muy presente que la generación de luz es el producto de un *SISTEMA*.

La *figura 1* muestra el esquema de un sistema de iluminación:

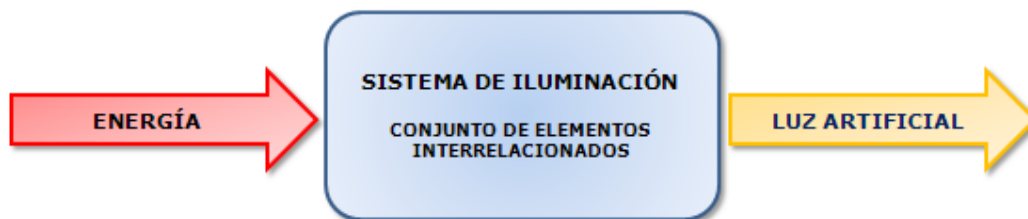


Figura 1 Sistema de iluminación

OBJETIVO

Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo: Diseñar un sistema de iluminación óptimo y eficiente para las instalaciones de la Unidad de Servicios de Cómputo Académico de la Facultad de Ingeniería (UNICA).

Área de estudio

La Unidad de Servicios de Cómputo Académico de la Facultad de Ingeniería tiene la misión de proporcionar eficaz y eficientemente en el ámbito institucional, los servicios de cómputo y el apoyo en actividades relacionadas que coadyuven al proceso integral de formación académica en la Facultad de Ingeniería.

Para que UNICA logre cumplir con su misión es necesario que las personas que laboran para esta institución cuenten con las condiciones óptimas necesarias de iluminación que les permitan realizar su mejor desempeño.

En fechas recientes se realizó una remodelación en las oficinas principales de UNICA que consistió en modificar el número de cubículos de trabajo, por lo que se hizo un reacomodo tanto en la red eléctrica como en la red informática pero no así en el sistema de iluminación.

Problema

El problema que se abordará en el desarrollo de esta tesis es:

Las oficinas principales de UNICA no cuentan con un sistema de iluminación adecuado para las actividades que se realizan en dicho inmueble ya que la distribución de luminarios no es el adecuado, así como también, el equipo de iluminación utilizado es obsoleto.

Alcance

El alcance de esta tesis es el de realizar el diseño del sistema de iluminación de las instalaciones de UNICA ubicadas en el conjunto Norte de la FI.

Las instalaciones que abarcan este estudio son:

- ❖ Cubículo del jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo
- ❖ Cubículo del jefe del Departamento de Servicios Académicos
- ❖ Cubículo del jefe del Departamento de Seguridad en Cómputo
- ❖ Cubículo del área Web
- ❖ Cubículo de becarios

Justificación

Es necesario contar con una iluminación adecuada y eficiente para la realización de todas las actividades de UNICA, por lo que este trabajo resultará de vital importancia, demostrando que con excelente iluminación se obtendrán beneficios eléctricos, ecológicos, económicos y humanos.

Método

Para resolver el problema se empleará la siguiente metodología:

- ❖ Realizar un análisis del sistema de iluminación que se encuentra actualmente instalado en el área de estudio (oficinas de UNICA).
- ❖ Realizar un estudio del área que se desea iluminar, así como de las actividades que se realizan en la misma, esto con el fin de definir los niveles de iluminación adecuados.
- ❖ Diseñar un sistema de iluminación que cumpla con los niveles de luz obtenidos en el inciso anterior.
- ❖ Realizar una comparación eléctrica, ecológica y económica entre el sistema de iluminación que se encuentra actualmente instalado y el propuesto.

CAPÍTULO 1 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

1.1 DEFINICIÓN DE SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Antes de definir lo que es un sistema de iluminación se debe entender el significado general de lo que representa la palabra *sistema*.

1.1.1 Sistema

Un *sistema* es un conjunto integrado de componentes o partes que se interrelacionan entre sí con la finalidad de obtener un objetivo común. Estos elementos pueden denominar *módulos*.

1.1.2 Sistema de iluminación

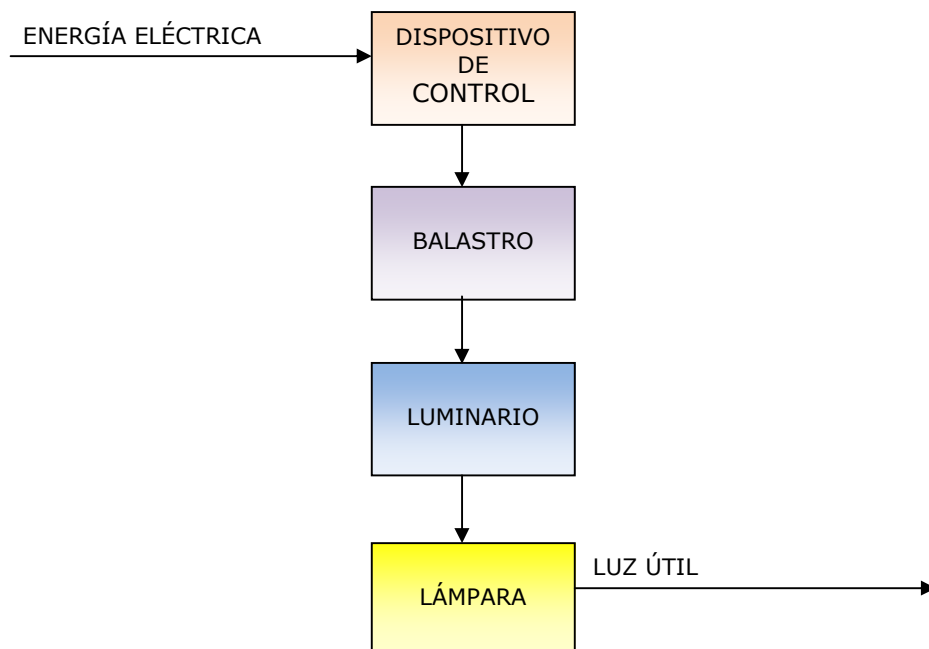
Tomando como base la definición de lo que es un sistema, se puede decir que:

Un sistema de iluminación es un conjunto de componentes interrelacionados que tienen como finalidad el objetivo común de proporcionar luz útil a un área determinada.

1.1.3 Componentes de un sistema de iluminación

Los principales componentes de un sistema de iluminación son:

- Lámpara
- Balastro
- Luminario
- Dispositivo de control



1.2 LÁMPARAS

La lámpara es el módulo del sistema de iluminación, que tienen como finalidad transformar la energía eléctrica que recibe el sistema de iluminación en energía luminosa (luz).

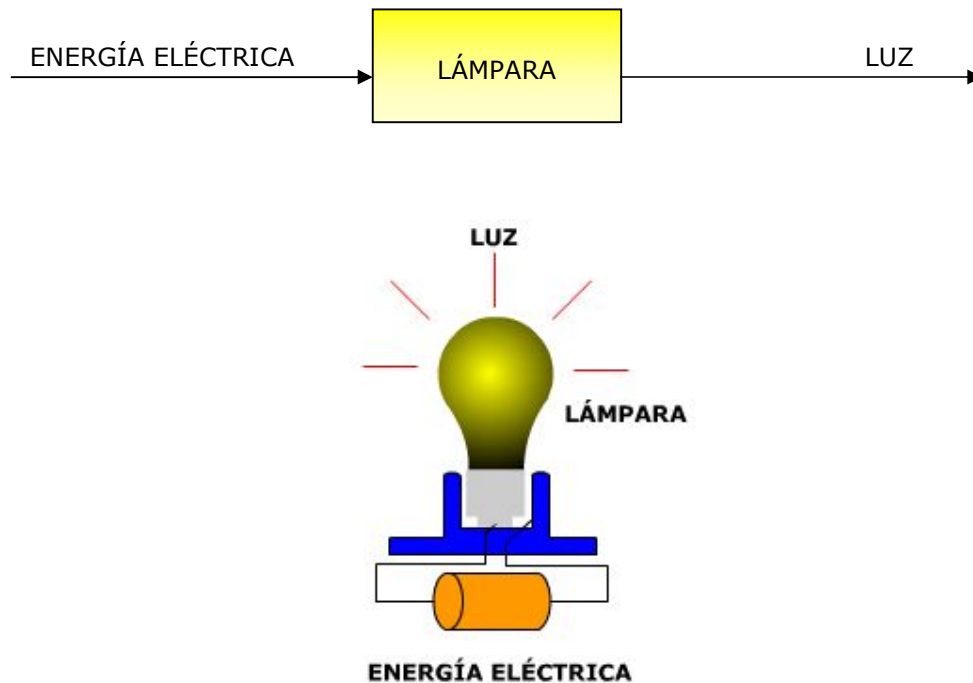


Figura 1.1 Esquema de una lámpara

NOTA: Es importante señalar que la luz que produce la lámpara no es precisamente luz que se pueda considerar útil, pues si así fuese se podría interpretar a las lámparas como un sistema completo de iluminación lo cual es falso.

1.2.1 Principios de funcionamiento

Esencialmente, cualquier producción de luz proviene de la emisión de radiación electromagnética en el espectro visible por los electrones de la capa exterior de los átomos o las moléculas cuando pasan de un nivel de energía superior a un nivel de energía inferior. La frecuencia o la longitud de onda de la radiación emitida dependen de la diferencia entre estas dos energías.

Las formas de producción de luz pueden clasificarse según la manera de excitar los electrones y, en general, se distinguen dos tipos característicos:

- termorradiación (incandescencia)
- luminiscencia.

Termorradiación (incandescencia)

Se define como termorradiación a la emisión de energía radiante que emite un cuerpo de determinado material en función de su temperatura. A la parte de esta radiación, emitida dentro del espectro visible, se le denomina incandescencia. **La incandescencia es la producción de luz por la elevación de la temperatura de un cuerpo.**

Las interacciones entre los átomos del cuerpo se intensifican a medida que aumentan su temperatura, de modo que los posibles niveles de energía crecen y su número llega a ser prácticamente infinito, por lo que el espectro de la luz emitida es un espectro continuo (emite en todas las longitudes de onda visibles).

A medida que aumenta la temperatura del cuerpo emisor, la cantidad de energía radiada es mayor y la longitud de onda a la que se emite la máxima energía se hace más corta, es decir, más próxima al espectro visible.

Un caso especial para el fenómeno de la termorradiación es el calentamiento de un cuerpo negro (se denomina cuerpo negro a aquel que absorbe toda la energía lumínica que recibe). La intensidad de la radiación emitida por un cuerpo negro con una temperatura T viene dada por la ley de Planck, dicha ley se puede comprender con la ayuda de la siguiente gráfica:

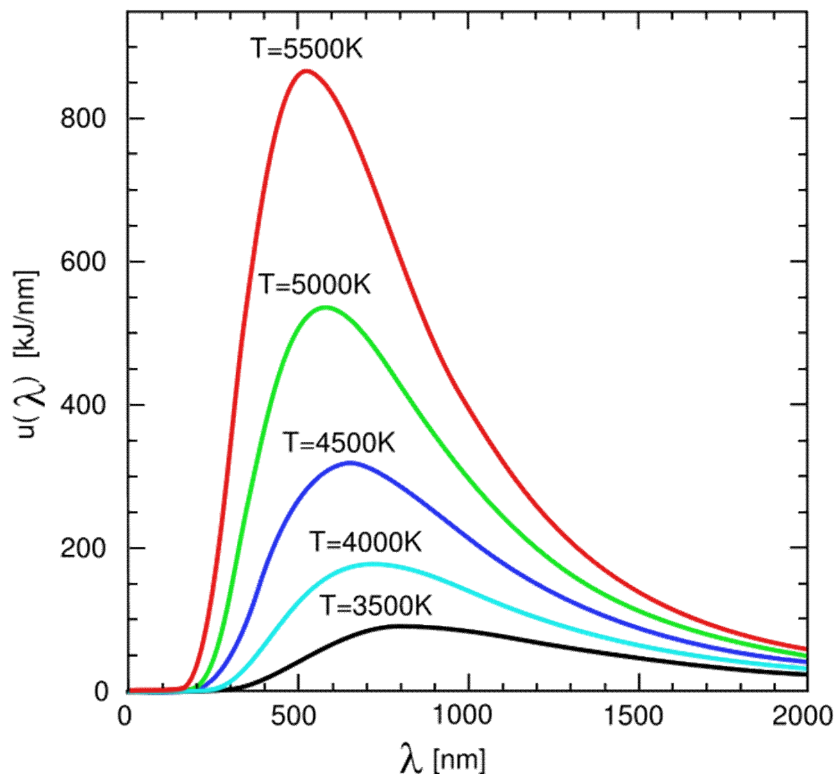


Figura 1.2 Ley de Planck

Luminiscencia

La luminiscencia se define como la emisión de radiación óptica (luz) por átomos o moléculas de un material, originada por la excitación de éstos por diversas formas de energía. La intensidad de radiación emitida por luminiscencia es mayor que la debida a la emisión térmica de ese material a la misma temperatura. Dependiendo del agente excitador, la luminiscencia se clasifica en:

- **Electroluminiscencia:** Producida por la acción de un campo eléctrico en el seno de un gas o un material sólido. Dentro de esta definición podemos encontrar:
 - Descarga a través de un gas (lámparas de descarga).
 - Diodos de emisores de luz (LED).
 - Cátodo-luminiscencia (tubos catódicos de TV).

- **Fotoluminiscencia:** Producida por la acción de otras radiaciones de distinta longitud de onda al de la luz visible. Se clasifica en:
 - Fluorescencia: Conversión de radiaciones ultravioleta en luz visible (lámparas fluorescentes).
 - Fosforescencia: Fotoluminiscencia retardada, en la que existe emisión de luz durante cierto tiempo después de que ha cesado la excitación.

- **Otras luminiscencias:** Producidas por causas diversas, se pueden citar:
 - Quimioluminiscencia (Reacciones químicas).
 - Bioluminiscencia (Quimioluminiscencia en seres vivos, por ejemplo las luciérnagas).
 - Triboluminiscencia (Fricción de algunos materiales).
 - Radioluminiscencia (materiales radiactivos).

1.2.2 Clasificación de lámparas

Clasificación 1

Tomando como base el análisis de los procesos de producción de luz, las fuentes luminosas artificiales (lámparas) se dividen en dos familias:

- **Lámparas incandescentes:** funcionan bajo el principio de la termorradiación (incandescencia).
- **Lámparas luminiscentes:** funcionan mediante el fenómeno de luminiscencia.

Clasificación 2

En general, toda lámpara funciona cuando se hace circular una corriente eléctrica (descarga) a través de un medio (sólido o gaseoso). Dependiendo del medio por el cual circula la corriente, las lámparas se pueden clasificar en:

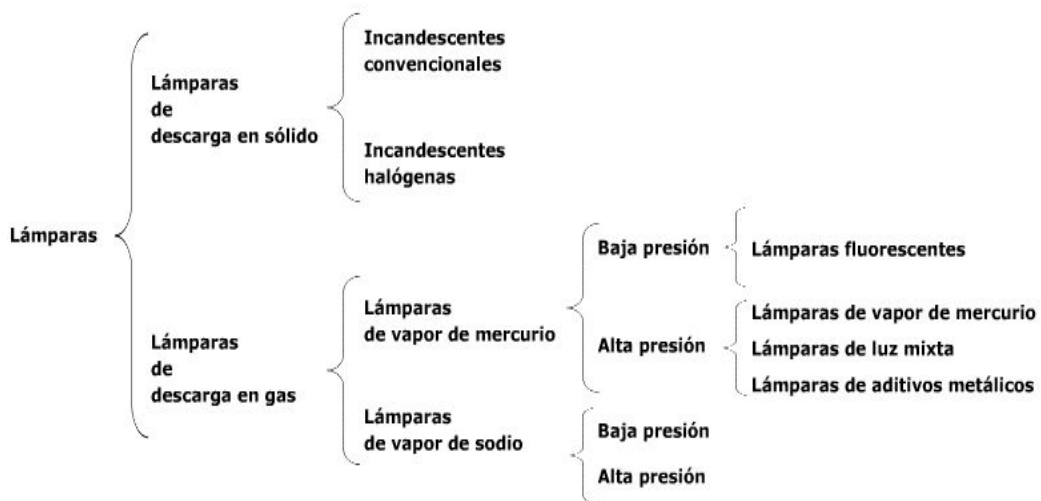


Figura 1.3 Clasificación de lámparas

Incandescente	Halógena	Fluorescente	Vapor de mercurio	Vapor de sodio
				

Figura 1.4 Tipo de lámparas

1.2.3 Lámparas incandescentes convencionales

Principio de funcionamiento

Las lámparas incandescentes generan luz como consecuencia del paso de corriente eléctrica a través de un filamento conductor, lo cual provoca que su temperatura se eleve gracias al efecto Joule, dando origen a la emisión por termorradiación.



Figura 1.5 Lámpara incandescente convencional

Creator

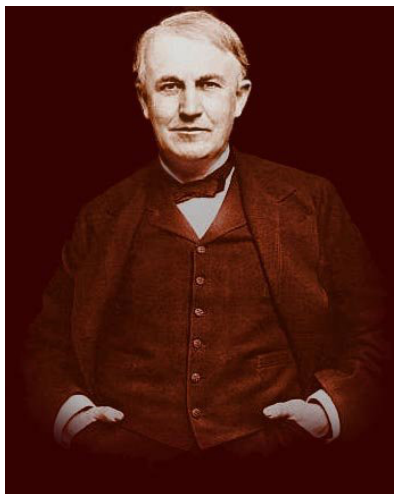


Figura 1.6 Thomas Alva Edison

El invento de la lámpara incandescente convencional está atribuido a Thomas Alva Edison, quien contribuyó a su desarrollo produciendo, el 21 de octubre de 1879, una lámpara incandescente práctica y viable, que lució durante 48 horas ininterrumpidas.

Componentes

Los componentes fundamentales de este tipo de lámparas son:

Filamento

En la actualidad, los filamentos son de tungsteno (wolframio), metal de elevado punto de fusión (cerca de 3400 °C), que permite alcanzar grandes radiaciones luminosas. El factor que condiciona la vida del filamento es la evaporación que se produce (creciente con la temperatura), degradando sus condiciones iniciales; además, el tungsteno volatilizado se deposita sobre la pared interna de la ampolla ennegreciéndola, reduciendo el flujo luminoso emitido.

Los filamentos se hacen en hilo, en espiral y doble espiral, con objeto de incrementar la superficie de radiación.

Ampolla

En general, de vidrio soplado. Su misión es aislar el filamento del medio ambiente y, al mismo tiempo, permitir la evacuación del calor generado. Dentro de la amplia variedad existente, las formas más comunes son:

- Estándar (pera)
- Esférica
- Globo
- Vela
- Tubular
- Elíptica (Reflectores de vidrio soplado)
- PAR (Parabolic Aluminized Reflector) constituida por dos piezas de vidrio, una de ellas con recubrimiento reflector (aluminio) y la otra es una lente que permite dirigir el flujo luminoso en un haz ancho (extensiva) o estrecho (intensiva).

Gas de llenado

El gas de llenado (normalmente una mezcla de 90% de argón y 10% de nitrógeno) pretende impedir la vaporización del filamento como consecuencia del aumento de la presión interior, y a la vez, impedir que el tungsteno vaporizado se deposite sobre la pared interna de la ampolla, gracias a las corrientes de convección que se desarrollan en el interior de ésta. Al aumentar la transmisión de calor entre el filamento y las paredes de la ampolla por el gas de llenado, se hace necesario recurrir a la doble espiral para reducir las pérdidas por convección.

Casquillo

El casquillo es utilizado para la conexión eléctrica a la red y fijación mecánica de la lámpara. Los casquillos de rosca están normalizados en E-14, E-27 y E-45, siendo la cifra los milímetros de diámetro.



Características	Valor
Encendido	Instantáneo
Vida útil	1000 Horas
Índice de rendimiento de color (IRC)	100
Eficacia luminosa	10-20 [lm/W]
Temperatura de Color	2,700 [K]

Tabla 1.1 Características de las lámparas incandescentes convencionales

Ventajas	Desventajas
Fácil de instalar	Baja eficacia luminosa
Encendido y reencendido instantáneo	Elevada producción de calor
No necesita equipos auxiliares para su encendido	Poca duración (escasa vida útil)
Excelente rendimiento de color (IRC)	
Dimensiones reducidas	
No hay limitaciones en cuanto a la posición de funcionamiento	
Muy bajo costo de adquisición	
Gama amplia de tensiones y potencias de alimentación.	
Factor de potencia unitario	
Dimeable	

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de las lámparas incandescentes convencionales

1.2.4 Lámparas incandescentes halógenas

Principio de funcionamiento

Son lámparas incandescentes mejoradas. Esencialmente, son lámparas incandescentes que contienen un aditivo de halógeno o compuesto halogenado (generalmente yodo). La acción del yodo consiste en combinarse con el tungsteno vaporizado del filamento, en las proximidades de la ampolla, formando un yoduro de tungsteno, que se disocia al aproximarse al filamento (a temperaturas superiores a 2000°C). Esta doble reacción química tiene un triple efecto regenerador:

- Retorno del tungsteno vaporizado al filamento.
- Limpieza del interior de la ampolla al evitar el depósito de partículas de tungsteno (mantenimiento del flujo luminoso).
- Incremento de la duración de la lámpara.

El filamento trabaja a mayor temperatura que las lámparas convencionales, lo que se traduce en una mayor emisión luminosa, con una mejora sustancial de la eficacia y una mayor temperatura de color.

Componentes

Filamento

Tungsteno, como el de las convencionales. Su temperatura de funcionamiento es más alta (superior a los 3,000 [°C]).

Ampollas

De cuarzo, capaz de soportar las altas temperaturas que requiere el ciclo del halógeno. Esta ampolla puede ser accesible (lámparas de cuarzo-yodo) o estar situada en el interior de otra ampolla de vidrio normal (lámparas de doble envoltura).

Gas de llenado

Se introduce en el interior de la lámpara, junto a un halógeno, un gas noble, básicamente kriptón, xenón o argón. En las de doble envoltura se emplea nitrógeno con gas de relleno entre las dos ampollas.

Casquillo

Los más frecuentes son:

- Cerámicos (R), en las de cuarzo-yodo.
- Edison (E), en las de doble envoltura.
- Espigas (G) o Bayoneta (B) en las de baja tensión



Figura 1.8 Lámpara incandescente halógena

Características	Valor
Encendido	Instantaneo
Vida útil	2000 Horas
Índice de rendimiento de color (IRC)	100
Eficacia luminosa	18-25 [lm/W]
Temperatura de Color	3,000-3,200 [K]

Tabla 1.3 Características de las lámparas incandescentes halógenas

Ventajas	Desventajas
Fácil de instalar	Su eficacia luminosa sigue siendo limitada para aplicaciones en donde se necesitan altos niveles de iluminación
Encendido y reencendido instantáneo	Aportación considerable de calor
No necesita equipos auxiliares para su encendido	Vida útil corta, relativamente, respecto a otras familias de lámparas
Excelente rendimiento de color (IRC)	Mayor costo que las convencionales
Dimensiones reducidas	
Mayor vida útil que las lámparas incandescentes convencionales	
Mayor eficacia luminosa que las lámparas incandescentes convencionales a igualdad de potencia	
Factor de conservación de flujo luminoso más elevado, por la acción limpiadora del halógeno en la pared de la ampolla	
Factor de potencia unitario	
Dimeable	

Tabla 1.4 Ventajas y desventajas de las lámparas incandescentes halógenas

1.2.5 Lámparas de descarga en atmósfera gaseosa

Principio de funcionamiento

Consiste en el paso de corriente eléctrica a través de un gas. Para ello se dispone de un tubo de vidrio de cuarzo, en cuyos extremos se han colocado dos electrodos. Se práctica vacío en el tubo y luego se introduce una pequeña cantidad de gas o de vapor metálico.

Aplicando a los electrodos una diferencia de potencial de nivel suficiente, parte de los átomos que constituyen el gas o vapor se disocian en electrones (cargas negativas) y en iones (cargas positivas); los electrones se desplazan velozmente hacia el electrodo positivo, mientras que los iones lo hacen hacia el electrodo positivo.

Pero no todos los átomos se disocian. Cada vez que se produce una colisión entre los electrones libres y los átomos que todavía no se han disociado, se origina una liberación de nuevos electrones que, en parte se unen al flujo que se dirige hacia el ánodo, y en parte se asocian de nuevo a los átomos de los que se habían visto alejados. La energía que estos últimos ceden al regresar a la órbita del propio átomo da lugar a la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas (luminiscencia cuando se trata de energía visible).

Ahora bien, normalmente los gases son aislantes; se vuelven conductores cuando se ionizan, lo que se obtiene aplicando, a los electrodos, un voltaje superior a un determinado valor crítico. Dicho voltaje recibe el nombre de voltaje de arranque.

Clasificación

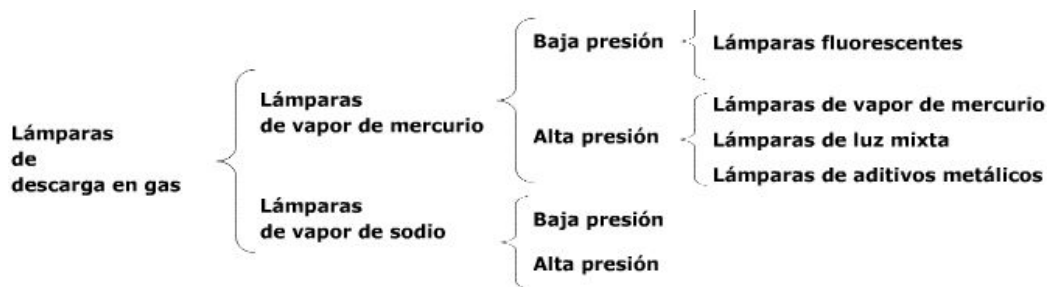


Figura 1.9 Clasificación de las lámparas de descarga en atmósfera gaseosa

1.2.6 Lámparas fluorescentes (Lámparas de vapor de mercurio a baja presión)

Principio de funcionamiento

Son lámparas de descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, donde la luz se genera por el fenómeno de la fluorescencia.

La descarga eléctrica se realiza en un tubo de longitud grande en relación con su diámetro, y en cuya pared interior lleva una fina capa de sustancias minerales fluorescentes, en los extremos del tubo se sitúan filamentos (electrodos), el tubo está relleno de un gas noble, generalmente Argón, a una determinada presión, y de una pequeña cantidad de Mercurio.

La descarga en vapor de mercurio a baja presión genera, fundamentalmente, radiación ultravioleta (de longitud de onda 253.7 [nm]). En las lámparas fluorescentes la luz se genera, por el fenómeno de la fluorescencia, mediante la conversión de la radiación ultravioleta en visible que efectúan las sustancias fluorescentes situadas en la pared interior del tubo de descarga.



Figura 1.10 Lámparas Fluorescentes (Lámparas de vapor de Mercurio a baja presión)

Dos características importantes de los tubos de descarga, en general, y de los tubos fluorescentes en particular son:

- La relación tensión-corriente de la lámpara es negativa debido a que la generación de iones positivos y electrones en la descarga incrementa a la intensidad de corriente a través de la lámpara. Por este motivo la descarga debe ser estabilizada mediante un elemento al que se denomina balastro (por lo general una impedancia conectada en serie con la lámpara). Este balastro es una potencia que debe añadirse a la potencia de la lámpara para conocer la potencia total de demanda.
- El espectro de emisión es discontinuo, además las radiaciones visibles emitidas de la lámpara dependen de la composición de las sustancias fluorescentes y de su capacidad de conversión de la radiación ultravioleta en visible.

Componentes

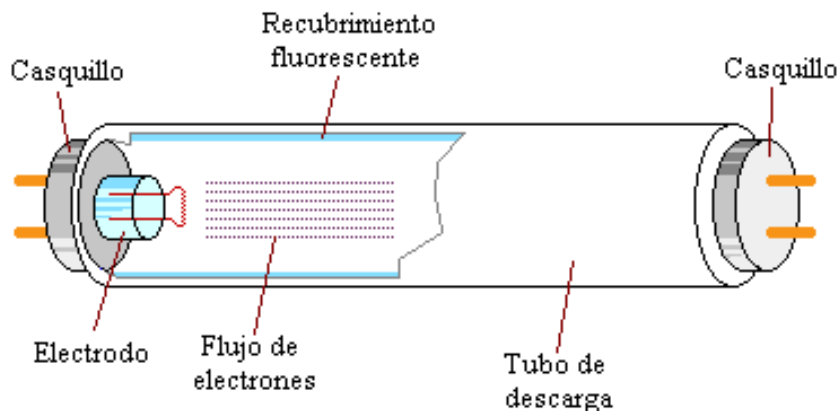


Figura 1.11 Componentes de las lámparas fluorescentes

Tubo de descarga

Es un bulbo de vidrio. Mediante una clave que consiste en la letra "T" (debido a la forma tubular del bulbo) se determina la forma y el tamaño del mismo. Esta letra va seguida de un número que expresa el diámetro del bulbo en octavos de pulgada. Por ejemplo: T-8 (Lámpara fluorescente tubular de 8 octavos de pulgada de diámetro).

Fósforos

El color de la luz producida por una lámpara fluorescente depende de la composición química del fósforo utilizado en el revestimiento interno del tubo. Combinando porciones variantes de distintos fósforos se produce una amplia variedad de colores.

Electrodos

Consisten generalmente en un alambre de tungsteno de doble o triple enrollamiento espiral. Este espiral lleva un revestimiento de un material emisor de electrones (bario, estroncio, óxido de calcio), cuya emisión tiene lugar a una temperatura de 950 °C.

Tubo de vacío

Este tubo se utiliza tanto para la extracción del aire como para introducir el gas de relleno cuando la lámpara está en fabricación.

Gas

El gas que generalmente se utiliza es el argón.

Mercurio

Está colocado en el bulbo en muy pequeñas cantidades para proveer el vapor de mercurio.

Casquillo

Se utilizan diferentes tipos de casquillo, los cuales están en función del tipo de encendido de la lámpara:

Casquillo	Tipo de encendido	Imagen
g-13	Encendido normal	
R17D	Arranque rápido	
FA8	Arranque instantáneo	

Tabla 1.5 Tipo de casquillos para lámparas fluorescentes

Prensados de la boquilla

Los hilos de toma de corriente van en este punto fusionados en el vidrio de la boquilla.

Hilos de toma de corriente

Estos van conectados a los pernos del casquillo y tienen la función de conducir la corriente a los electrodos.

Balastro

Para que este tipo de lámparas puedan funcionar necesitan de un equipo auxiliar, denominado balastro.

El balastro tiene la función de limitar y controlar la corriente que pasa por la lámpara, así como proveer la tensión de arranque.

Cebador

El cebador es un dispositivo auxiliar que utilizan las lámparas fluorescentes de precalentamiento para que junto con el balastro provean la tensión arranque.

Clasificación

Las lámparas fluorescentes se dividen, de acuerdo con la forma en que encienden, en:

- **Arranque rápido:** En estas lámparas el precalentamiento se obtienen a través de un devanado de calentamiento para cada electrodo, incluido el balastro. Estas lámparas no requieren arrancador, pues encienden rápidamente, casi como las de arranque instantáneo.
- **Arranque instantáneo:** Estas lámparas se diseñaron para eliminar el dispositivo de arranque y conseguir un encendido más rápido. El dispositivo de arranque se eliminó al utilizarse un balastro que suministra a la lámpara una elevada tensión de arranque. Estas lámparas sólo llevan un perno de contacto en cada extremo y se les conoce con el nombre de Slim-line (línea delgada).
- **Arranque por precalentamiento:** Estas lámparas utilizan un circuito de arranque con dispositivo arrancador que sirve para precalentar a los electrodos. Estas lámparas requieren, además del balastro, un cebador.

Características	Valor
Encendido	Instantaneo
Vida útil	10,000 Horas
Índice de rendimiento de color (IRC)	50-95
Eficacia luminosa	37-100 [lm/W]
Temperatura de Color	2,700-6,500 [K]

Tabla 1.6 Características de las lámparas fluorescentes

Ventajas	Desventajas
Elevada eficacia luminosa	Factor de potencia bajo
Reducida aportación calorífica	Poco adaptable para iluminación de exteriores
Buen, e incluso, excelente rendimiento de color en algunos modelos	Produce efecto estroboscópico
Larga vida útil (10 veces mayor a las lámparas incandescentes convencionales)	
Encendido y reencendido rápido (instantáneo en algunos modelos)	
Amplia gama de lámparas y luminarios	

Tabla 1.7 Ventajas y desventajas de las lámparas fluorescentes

1.2.7 Lámparas fluorescentes compactas (CFLs)

Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de las lámparas fluorescentes compactas es básicamente el mismo que el de las lámparas fluorescentes convencionales (también conocidas como lámparas fluorescentes lineales).

Virtudes

Brindan una excelente luz, ahorran energía y lucen magníficas. Consumen menos energía que las lámparas incandescentes convencionales, duran más y pueden reemplazar casi cualquier lámpara incandescente común debido a que son muy compactas.



Figura 1.12 Lámparas Fluorescentes Compactas (CFLs)

¿Qué son?

La *lámpara fluorescente compacta* o CFL (por sus siglas en inglés **C**ompact **F**luorescent **L**amp) es un tipo de lámpara fluorescente que se puede usar con casquillos estándar con rosca Edison estándar (E27) o pequeña (E14). También se la conoce como:

- lámpara ahorradora de energía
- lámpara de bajo consumo
- bombilla de bajo consumo



Figura 1.13 Lámparas Fluorescentes Compactas (CFLs)

Clasificación

Se puede considerar que las CFL son un sistema de iluminación que constan de: lámpara, balastro, luminario y dispositivo de control

Actualmente existen tres sistemas diferentes:

Sistemas integrales

Son conjuntos autobalastados de una sola pieza que contienen un adaptador, una lámpara y un balastro.



Figura 1.14 CFL-Sistemas integrales

Sistemas modulares

También son conjuntos autobalastados que contienen un adaptador del tipo incandescente, un balastro, un portalámparas y una lámpara reemplazable.



Figura 1.15 CLF-Sistemas modulares

Sistemas dedicados

Se componen de un balastro, un socket para lámparas fluorescentes alambrados como parte de un luminario para CFLs. Mientras los sistemas integrales y los modulares se diseñan para instalarse en los sockets de base media existentes en los luminarios para lámparas incandescentes, los dedicados son generalmente componentes especiales suministrados como parte de los luminarios específicos para CFLs.



Figura 1.16 CFL-Sistemas dedicados

1.2.8 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Principio de funcionamiento

Están constituidas por un pequeño tubo de cuarzo que contiene vapor de mercurio a alta presión y un gas inerte (argón) para facilitar la descarga. En ambos extremos se hallan dispuestos los electrodos, dos de los cuales son principales y uno auxiliar para facilitar el arranque.

La luz que emite es color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se acostumbra añadir sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara, aunque también están disponibles las lámparas completamente transparentes, que iluminan bien en zonas donde no se requiera estrictamente una exacta reproducción de los colores.

El tubo de cuarzo-también llamado *tubo de descarga*, se encierra en un globo de vidrio para aislarlo del ambiente externo. Este globo, no solamente elimina las radiaciones ultravioleta (perjudiciales para los ojos), que dan lugar a la formación de ozono en el aire, sino que también sirve para mejorar la calidad de luz siempre y cuando esté revestido internamente de polvo fluorescente.

Una de las características de estas lámparas es que tienen una vida útil muy larga, ya que ronda las 25,000 horas de vida aunque la depreciación lumínica es considerable.

Existen dos tipos característicos de lámparas de vapor de mercurio:

- De ampolla clara, cuyo espectro corresponde a la propia emisión de tubo de descarga, carente de componentes rojas (por lo que el IRC es bajo, del orden de 25).
- De color corregido, que incorpora sustancias fluorescentes en la pared interna de la ampolla, capaces de aprovechar la radiación ultravioleta emitida por el tubo de descarga, para su conversión en radiación visible.

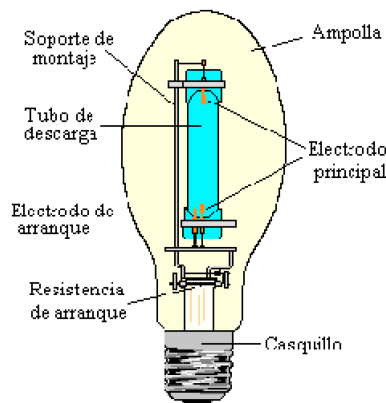


Figura 1.17 Componentes de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Componentes

Tubo de descarga

De cuarzo, para soportar la alta temperatura registrada en el mismo (750 °C) durante su funcionamiento.

Su forma es cilíndrica, con los extremos semiesféricos y contiene dos electrodos principales (uno de cada lado), un electrodo auxiliar y el gas de llenado junto con la dosificación exacta de mercurio.

Electrodos principales

Similares a los de las lámparas fluorescentes, con una base de tungsteno en espiral, recubierta por sustancias emisoras de electrones (óxidos o carbonatos de estroncio, bario, torio y otros aditivos alcalino-térreos).

Electrodo auxiliar (electrodo de arranque)

Es un simple hilo de tungsteno, colocado muy próximo a un electrodo principal, pero conectado al polo opuesto, a través de una resistencia.

Gas de llenado

Normalmente argón, y en ocasiones argón con neón, para lámparas destinadas al funcionamiento en bajas temperaturas.

Ampolla exterior

De vidrio endurecido, diseñado para soportar temperaturas del orden de 350 °C. Entre el tubo de descarga y esta ampolla existe un gas de relleno (mezcla de argón y nitrógeno) para proteger a los componentes metálicos interiores del riesgo de oxidación, y mantener las condiciones de temperatura del tubo de descarga. Las formas características de estas ampollas son:

- Ovoide
- Globo
- Parabólica reflectora

Sustancias fluorescentes

Sólo existen en las lámparas de color corregido. Actualmente se emplea el vanadato de itrio, activado con europio, por su mejor resistencia a la alta temperatura que los antiguos compuestos de magnesio, y porque ofrece una eficacia luminosa más elevada.

Casquillos

En general, rosca Edison (E).

Características	Valor
Encendido	De 4 a 5 minutos.
Vida útil	25,000 Horas
Índice de rendimiento de color (IRC)	40-45
Eficacia luminosa	30-60 [lm/W]
Temperatura de Color	3,500-4,500 [K]

Tabla 1.8 Características de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Ventajas	Desventajas
Equipo auxiliar de arranque sencillo	El encendido no es inmediato
Reproducción fiable de colores verdes, lo que las hace adecuadas para alumbrado exterior en parques y jardines	Costo inicial alto
Gama de potencia, comparada con las lámparas fluorescentes, alta	Reencendido lento, de 3-6 minutos

Tabla 1.9 Ventajas y desventajas de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión

1.2.8.1 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión de luz mixta

Principio de funcionamiento

Son una combinación de lámparas de vapor de mercurio a alta presión y lámparas incandescentes convencionales. Proporciona una luz mixta, mercurio-incandescente. Al tubo de descarga normal se le ha añadido un filamento metálico (conectado en serie) que ejecuta las siguientes funciones:

- Asegurar la estabilización de la descarga.
- Mejorar el rendimiento de color de la lámpara, mediante la radicación luminosa de color rojo que aporta.
- Mejorar el factor de potencia de la lámpara.

Componentes

Son los mismos que los de la lámpara de color corregido de ampolla de ovoide, con la adición de un filamento de tungsteno, similar a los descritos para lámparas incandescentes, y adaptado a las condiciones de funcionamiento del tubo de descarga.

Características	Valor
Encendido	2 minutos
Vida útil	6,000-9,000 Horas
Índice de rendimiento de color (IRC)	60
Eficacia luminosa	19-32 [lm/W]
Temperatura de Color	3,600 [K]

Tabla 1.10 Características de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión de luz mixta

Ventajas	Desventajas
IRC mejorado (en comparación con las de vapor de mercurio a alta presión convencionales)	El encendido no es inmediato
Sustituyen a lámparas incandescentes convencionales de elevada potencia debido a la mayor eficacia luminosa y mayor promedio de vida	Costo inicial alto

Tabla 1.11 Ventajas y desventajas de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión de luz mixta

1.2.8.2 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión de aditivos metálicos (halogenuros metálicos)

Principio de funcionamiento

Básicamente, son lámparas de vapor de mercurio a alta presión, en las cuales el tubo de descarga contiene diversos aditivos metálicos, generalmente en forma de yoduro, con lo que se obtiene un buen Índice de Rendimiento de Color y elevada eficacia luminosa.

Se pueden distinguir dos tipos básicos de lámparas de aditivos metálicos:

- Con ampolla exterior de vidrio, en diversas formas.
- Con ampolla exterior de cuarzo, de dimensiones reducidas y adaptada a pequeños sistemas de proyección.

Con base en los aditivos metálicos que contiene el tubo de descarga, existen cuatro familias de este tipo de lámparas:

- De sodio, talio e indio
- De sodio y escandio
- De disprosio y talio
- De talio y aditivos de tierras raras

Componentes

Tubo de descarga

De cuarzo, muy similar al de las lámparas de vapor de mercurio, con la diferencia característica de que no existe el electrodo auxiliar de encendido.

Electrodos

De tungsteno.

Gas de llenado

Argón en la mayoría de los casos, o bien una mezcla argón-neón.

Ampolla exterior

De vidrio, con características similares a la de las lámparas de vapor de mercurio. El objeto de esta ampolla externa y de su gas de relleno (argón y nitrógeno), es crear una distribución de temperaturas favorable en el tubo de descarga que impida la separación de los componentes.

Casquillos

Los tipos básicos son los siguientes:

- Edison (E), para las de ampolla exterior.
- Cerámicos (R), para los de tubo de cuarzo vistos.

Características	Valor
Encendido	3-10 minutos
Vida útil	7,500-20,000 Horas
Índice de rendimiento de color (IRC)	65-85
Eficacia luminosa	60-100 [lm/W]
Temperatura de Color	3,000-6,000 [K]

Tabla 1.12 Características de las lámparas de vapor de mercurio alta presión de aditivos metálicos

Ventajas	Desventajas
IRC mejorado (en comparación con las de vapor de mercurio a alta presión convencionales)	El encendido no es inmediato
Sustituyen a lámparas incandescentes convencionales de elevada potencia debido a la mayor eficacia luminosa y mayor promedio de vida	Costo inicial alto

Tabla 1.13 Ventajas y desventajas de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión de aditivos metálicos

1.2.9 Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Principio de funcionamiento

Están constituidas por un tubo doblado sobre sí mismo en forma de "U", relleno de una mezcla de gases inertes (neón, etc.) a la que se le añade una cierta cantidad de sodio. Cuando la lámpara está fría, el sodio se deposita a lo largo del tubo en forma de pequeñas gotas; bajo el efecto de la descarga, el sodio pasa a estado gaseoso.

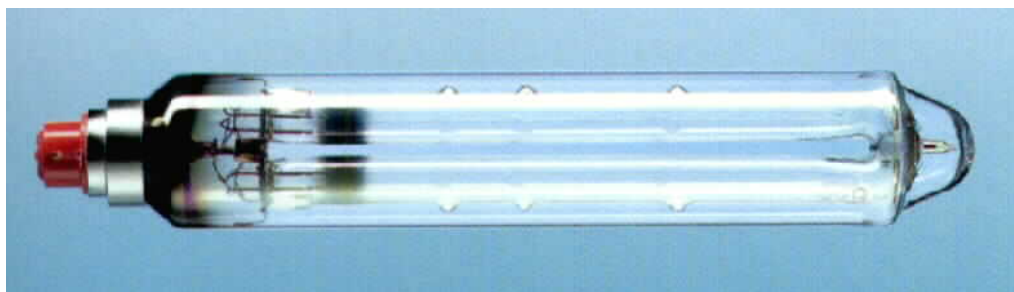


Figura 1.18 Lámpara de vapor de sodio a baja presión

Al conectar la lámpara a la red se produce una descarga eléctrica, con lo que el gas se ioniza y se hace conductor; de esta forma disminuye la resistencia eléctrica entre los electrodos, y aparece la luz rojiza, característica del neón. El calor producido por esta descarga inicial vaporiza al sodio, hasta que este metal, en estado gaseoso, llega a ser el soporte principal de la descarga. Como toda lámpara de descarga, necesita de un accesorio (reactancia), que debe proporcionar una tensión suficiente para el encendido, y a la vez actuar de limitador de corriente durante el funcionamiento de la lámpara.

La descarga en vapor de sodio baja presión es muy similar a la de mercurio baja presión, con la diferencia de que la temperatura en el tubo de descarga más elevada (260 °C) para asegurar la vaporización del sodio.

Su característica fundamental es que alrededor del 90% de la radiación emitida se verifica en la banda de 589-589.6 [nm], correspondiendo el resto, casi en su totalidad, al infrarrojo corto (IR-A). Este pico de radiación monocromática amarilla está muy próximo al máximo de la curva de sensibilidad espectral del ojo, lo que convierte a esta lámpara en una de las más eficaces.

Componentes

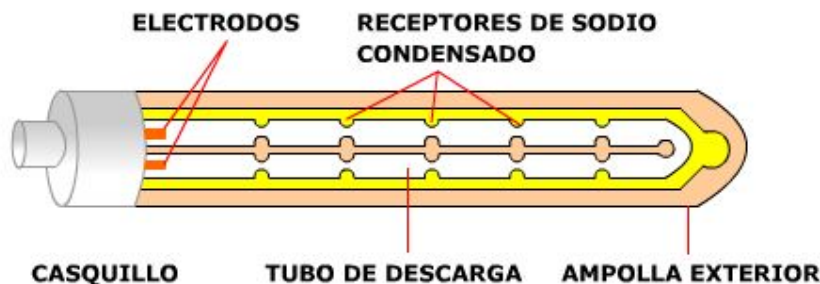


Figura 1.19 Lámpara de vapor de sodio a baja presión (Componentes)

Tubo de descarga

De vidrio duro, recubierto en su cara interior por una capa de vidrio tratado con boratos resistentes al sodio (que es agresivo con el vidrio normal). Presenta una forma doblada en U, con una serie de salientes perimetrales, cuya menor temperatura que el resto del tubo los convierte en receptores del sodio condensado. Estos pequeños depósitos de sodio tienen por objeto impedir la migración del sodio hacia lugares indeseados del tubo de descarga. El tubo contiene los electrodos, el sodio y el gas de llenado.

Electrodos

De hilo grueso de tungsteno en doble espiral, recubierto por sustancias emisivas (óxidos de metales alcalino-térreos). La construcción de los electrodos está pensada para aumentar su duración a pesar del elevado valor de la corriente del arco.

Gas de llenado

Habitualmente neón, en ocasiones con un ligero contenido de argón para reducir la tensión de llenado.

Ampolla exterior

De vidrio, en forma cilíndrica, recubierto internamente por una capa de óxido de indio, que transmita la radiación amarilla del sodio y refleje cerca del 80% de la radiación infrarroja hacia el tubo de descarga (260 °C), para lo cual, además de la reflexión del infrarrojo, se hace el vacío (ausencia de transmisión de calor por convección) y se añaden compuestos absorbentes que mantienen el vacío a lo largo de la vida de la lámpara.

Casquillos

Normalmente bayoneta (B).

Características	Valor
Encendido	3-4 minutos
Vida útil	18,000 Horas
Índice de rendimiento de color (IRC)	Bajo
Eficacia luminosa	100-180 [lm/W]
Temperatura de Color	Cálida

Tabla 1.14 Características de las lámparas de vapor de sodio baja presión

Ventajas	Desventajas
Eficacia luminosa: es la más elevada de todas las fuentes de luz artificiales	Índice de rendimiento de color extremadamente bajo

Tabla 1.15 Ventajas y desventajas de las lámparas de vapor de sodio a baja presión

1.2.10 Lámparas de vapor de sodio alta presión

Principio de funcionamiento

Las lámparas de vapor de sodio alta presión, emiten una luz de color blanco-oro, con un índice de rendimiento de color discreto. Para la construcción del tubo de descarga se recurre a un óxido de aluminio sinterizado, que resiste las altas temperaturas y no es atacado por el sodio. En el tubo de descarga se introduce una amalgama de sodio (aleación de sodio y mercurio), junto con un gas raro, a una presión tal que favorezca el arranque de la descarga.



Figura 1.20 Lámparas de vapor de sodio alta presión

Características	Valor
Encendido	5-10 minutos
Vida útil	24,000 Horas
Índice de rendimiento de color (IRC)	25-80%
Eficacia luminosa	80-140 [lm/W]
Temperatura de Color	2,000-2,200 [K]

Tabla 1.16 Características de las lámparas de vapor de sodio a alta presión

Ventajas	Desventajas
Alta eficacia luminosa	Tarda varios minutos en alcanzar el 80% de su flujo luminoso nominal
Regular IRC	Apariencia de color calidad
Elevada vida media	
Puede operar en cualquier posición de funcionamiento	

Tabla 1.17 Ventajas y desventajas de las lámparas de vapor de sodio a alta presión

1.2.11 Diodo emisor de luz (LEDS)

¿Qué son?

Los LEDs, sigla en inglés para Lighting Emmitted Diodes (Diodos Emisores de Luz), son componentes semiconductores, la misma tecnología utilizada en los chips de computadoras, que poseen la propiedad de transformar energía eléctrica en luz.

Principio de funcionamiento

La luz generada por los LEDs se origina por medio del calentamiento de estos semiconductores a través de una pequeña corriente eléctrica, la cual pasa por ellos cuando se polariza de forma directa la unión PN del mismo, lo que genera una luz muy intensa. Este fenómeno es una forma de electroluminiscencia.

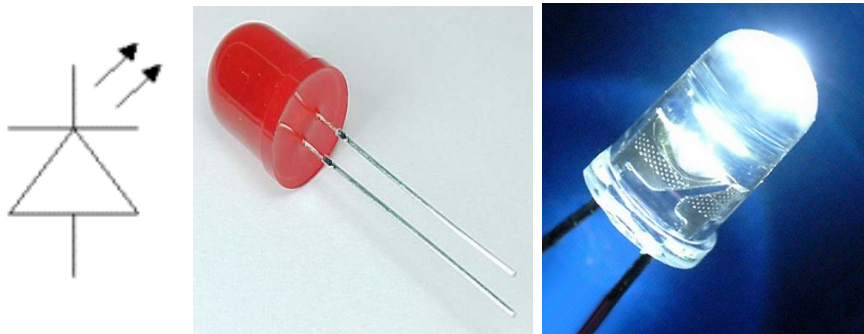


Figura 1.21 Leds



Figura 1.22 Ejemplos de aplicación de los Leds

Clasificación según la potencia

Los LEDs pueden ser de baja (0.1W), media (0.2W a 0.5W) y de alta potencia (superior a 0.5W). Por lo general, se utilizan los de baja y media potencia para señalización y efectos decorativos. Los de alta potencia ya pueden aplicarse en iluminación general.

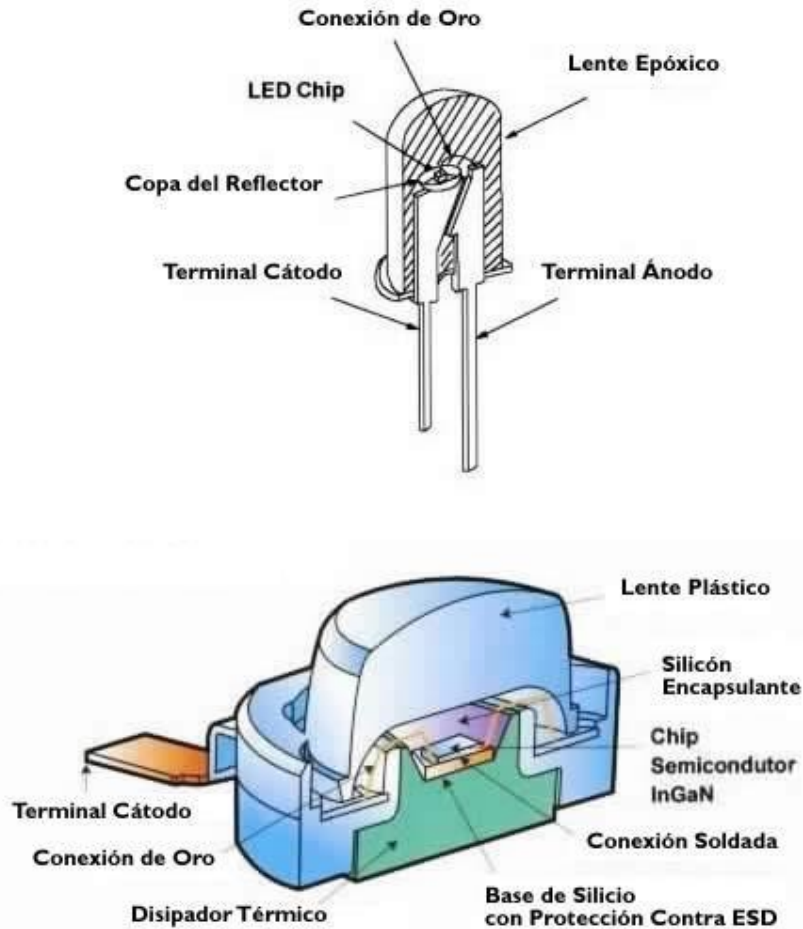


Figura 1.23 Esquema de un LED de potencia

Color

El color (longitud de onda), depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarrojo.

Los diodos emisores de luz que emiten luz ultravioleta también reciben el nombre de UV LED (UltraViolet Light-Emitting Diode) y los que emiten luz infrarroja suelen recibir la denominación de IRED (Infra-Red Emitting Diode).

1.3 BALASTROS

Todas las lámparas que producen luz por medio de una descarga en un ambiente gaseoso requieren de un dispositivo externo que limite la corriente de operación. Debido a que el tubo de descarga de este tipo de lámparas tiene una impedancia negativa, si la corriente que circula por dichas lámparas no se controlara seguiría incrementándose hasta destruir la lámpara.



Figura 1.24 Balastros

1.3.1 Definición

De acuerdo con las normas nacionales, un balastro se define como:

“Es un dispositivo que, por medio de inductancias o resistencias solas o en combinación, limitan la corriente de las lámparas al valor requerido para su operación correcta y también cuando es necesario suministra la tensión y corriente de arranque; en el caso de los balastros para lámpara fluorescentes de arranque rápido, también se encarga de suministrar la tensión para calentamiento de cátodos”.

1.3.2 Funciones

El balastro en general tiene las siguientes funciones

- 1) Proporcionar la tensión de arranque y operación de la lámpara.
- 2) Limitar la corriente de operación de la lámpara.
- 3) Corregir el factor de potencia.
- 4) Amortiguar las variaciones de tensión de la línea de alimentación eléctrica.

1.3.3 Clasificación

Los balastos se pueden clasificar, tomando como referencia el tipo de lámpara que operan, en:

- Para lámparas fluorescentes.
- Para lámparas de alta intensidad de descarga (HID).
- Para lámparas de baja intensidad de descarga (LID).

1.3.4 Balastos para lámparas fluorescentes

Los sistemas fluorescentes se dividen en tres grandes categorías de acuerdo con su encendido, por lo que cada tipo de encendido requiere un balastro especial.

a) Encendido precalentado

Por el diseño de este tipo de lámparas, se requiere que sus electrodos sean calentados antes del arranque. En serie con los filamentos y en paralelo con la lámpara debe colocarse un dispositivo arrancador (también conocido como cebador) que puede ser manual o automático. Al energizar el circuito, la corriente pasa a través del balastro, de los filamentos y del arrancador. Durante el periodo de encendido el balastro únicamente proporciona la corriente necesaria para calentar los cátodos de la lámpara.

Cuando el dispositivo bimetálico con que van dotados estos arrancadores abre el circuito o cuando se abre por operación manual, automáticamente se provoca que la corriente ya no pase a través del mismo, sino a través de la lámpara, lográndose así el encendido de ésta.

b) Encendido instantáneo

En este sistema de encendido se inicia el arco por medio de la aplicación de un voltaje alto sin que los electrodos hayan sido precalentados. Por esta razón los balastos de encendido instantáneo son de mayor tamaño y aunque tienen la ventaja de no necesitar arrancadores (se reduce el mantenimiento) son económicamente recomendables sólo en el caso de usarse para encender dos lámparas, aunque desde luego existen circuitos para una lámpara.

c) Encendido rápido

En este tipo de balastos se tienen devanados para proveer de calentamiento continuo a los filamentos, por lo que no se requiere de arrancador. Las lámparas encienden casi tan rápido como las de encendido instantáneo porque además de la tensión aplicada a cada cátodo se aplica una tensión entre cátodos de tal manera que se inicie el arco.

Balastos electromagnéticos ahorradores de energía

Son fabricados con alta tecnología y mejores materiales que los normales, con el objetivo de reducir pérdidas. Operan a las lámparas a potencia adecuada sin reducir su vida útil. Trabajan a temperaturas internas muy bajas con lo que aumentan su propia vida. Tienen apariencia similar a los normales y se conectan igual a ellos, pero generalmente tienen la ventaja de contar con un termoprotector que evita sobrecalentamientos internos.

Tienen un desempeño que caen entre los normales y los electrónicos. Se encuentran disponibles en potencias que corresponden a las lámparas de mayor uso y su aplicación es muy recomendable. Por trabajar a temperaturas menores que los normales, están garantizados generalmente por 4 años, pero se estima que pueden vivir entre 10 y 12 años. Se encuentran disponibles en el mercado pero debe tenerse la precaución de acoplarse sólo lámparas compatibles entre ellos.

Balastos electrónicos

Son balastos de estado sólido que pueden ser discretos o integrados y trabajan con alta frecuencia y bajas pérdidas, ayudando a mejorar la eficacia de las lámparas. Se pueden instalar directamente en lugar de los electromagnéticos porque son de las mismas dimensiones, aunque su peso es mucho menor. Como trabajan a alta frecuencia evitan el efecto estroboscópico. Los hay de potencia de lámpara constante y de potencia variable. A su vez, los de potencia variable puede tener dos o tres escalones definidos o bien los hay que pueden controlar la potencia en pasos discretos, en forma similar al dimmer de una lámpara incandescente.

En combinación con las lámparas ahorradoras de energía permiten ahorros de hasta 35% si se comparan con balastos y lámparas normales. El costo depende del tipo de balastro y la marca.

1.4 DISPOSITIVOS DE CONTROL

1.4.1 Introducción

Los controles juegan un papel importante en cualquier sistema, ya que éste no puede considerarse completo sin los dispositivos necesarios para encenderlo, ajustarlo y apagarlo. Para los sistemas de iluminación, los controles van desde un simple apagador de pared, hasta sistemas de control programables muy sofisticados. En un principio, los controles únicamente se utilizaban para encender y apagar la iluminación, pero actualmente son elementos principales en un sistema de iluminación, así como de los programas de administración y uso de energía.

Un sistema ideal de control de alumbrado tiene como objetivos proporcionar la suficiente iluminancia para que la tarea que realice con suficiente:

- Confort
- Comodidad
- Seguridad

Durante la ejecución de la misma. El resto del tiempo la iluminación estará desconectada.

1.4.2 Estrategias de control

Para que los dispositivos de control cumplan en una forma eficaz con sus objetivos se pueden considerar las siguientes estrategias de control:

Programación

Cuando se conocen perfectamente la rutina de actividades diarias, los niveles de iluminación y su distribución se pueden programar de forma automática. Este es el caso de muchas áreas de trabajo en el sector industrial.

Depreciación luminosa

Los sistemas de alumbrado se diseñan para una iluminancia mínima. Esto supone un nivel inicial que puede exceder en un 20 a un 50% al nivel mínimo requerido.

La estrategia de control consiste en reducir la iluminación inicial del sistema de iluminación a los valores de diseño.

Luz natural

Cuando la luz diurna puede suministrar parte de la iluminación de un área de trabajo, ajustar la iluminación eléctrica en proporción a la iluminación natural disponible, garantiza una reducción en el consumo energético.

1.4.3 Tipos de controles

De manera general, los controles eléctricos utilizados en sistemas de iluminación se clasifican en:

- Dispositivos de encendido-apagado
- Dispositivos de nivel
- Dispositivos de control por microprocesadores

1.4.4 Dispositivos de encendido-apagado

a) *Termomagnéticos*

- Su función principal es la de proteger la porción del circuito sobre el que actúan.
- Por lo general se colocan en tableros remotos y se utilizan para encender y apagar circuitos completos.
- La aplicación más usual es aquella donde se desee controlar a un gran número de luminarios a la vez, evitar el control local y el acceso al público en general.
- Mantienen encendidos o apagados un número de luminarios mayor al necesario.

b) *Apagadores de pared*

- Son dispositivos mecánicos muy simples y de bajo costo.
- Proveen un control localizado para los usuarios y permiten el seleccionamiento de los circuitos eléctricos.
- Existen cuatro tipos de apagadores:
 - Un polo-un tiro: Controlan un solo circuito.
 - Dos polos-un tiro: Permiten controlar dos circuitos simultáneamente.
 - Un polo-dos tiros (3 vías): Permiten controlar un circuito desde dos puntos diferentes.
 - Dos polos-dos tiros: Se instalan en circuitos donde se tengan interruptores de 3 vías y se requiera de más puntos de control.

c) *Interruptores de tiempo*

- Involucran el cambio de una de las líneas de alimentación por dos circuitos: uno de alimentación controlado y otro de control.
- Se utilizan para encender y apagar la iluminación en diferentes ocasiones durante el día, durante varios días de la semana; algunos pueden programarse por varios años.
- Existen eléctricos, mecánicos y electromecánicos.
- Los de tipo electromecánico utilizan un motor para manejar el sistema de relojería.
- Algunos cuentan con una batería de respaldo para asegurar su funcionamiento durante una interrupción de la energía eléctrica.

d) Fococeldas

- Hasta hace algún tiempo eran de uso exclusivo para áreas exteriores.
- Actualmente se utilizan para controlar los sistemas interiores, basándose en la disponibilidad de la luz natural.
- Pueden actuar como interruptores o como generadores de señales que controlen a los dimmers.
- Algunas cuentan con un reloj que mantiene momentáneamente el estado del sistema de iluminación.
- Por lo general, deben orientarse al norte cuando se instalan en exteriores.
- Prácticamente están libres de mantenimiento, son de bajo costo relativo y se ajustan automáticamente a las estaciones del año.
- Cuando se utilizan en interiores, la variable crítica es la localización, ya que en ésta, el nivel de iluminancia debe ser proporcional a aquel en el plano de trabajo.

e) Sensores de presencia

- Son aquellos que nos proporcionan una señal de encendido o apagado en presencia o ausencia de usuarios del sistema de iluminación.
- Cualquiera que sea el tipo de éstos, cuentan con dos componentes primarios: el detector (generalmente de movimiento) y el control del relevador.
- En general, se deben considerar los siguientes aspectos para cualquier proyecto que involucre sensores de presencia:
 - Ciclos de encendido-apagado frecuentes.
 - Tiempo que opera innecesariamente el sistema de iluminación.
 - Forma y dimensión del área a controlar.
 - Presencia de barrera u obstáculos.
 - Ubicación del sensor.
 - Patrón de detección.
 - Ajuste de sensibilidad y tiempo.

1.4.5 Dispositivos de nivel

Los dispositivos de nivel tienen la finalidad de regular el flujo luminoso emitido por las lámparas que controla. Las lámparas incandescentes son de fácil regulación, aunque los ahorros de energía que consiguen son bajos. Las lámparas fluorescentes a las que se pretenden regular el flujo luminoso deben ser del tipo de encendido rápido o las específicas para balastos de alta frecuencia. En la actualidad, cuando se pretende regular el flujo de las lámparas fluorescentes, se utilizan de forma generalizada equipos electrónicos para alta frecuencia.

Balastos multinivel

Son balastos que tienen la finalidad de regular el flujo de salida de las lámparas que tiene conectadas. En general, los balastos multinivel tienen las siguientes características:

- Existen en dos o tres niveles, donde cada nivel se refiere a cierto porcentaje del flujo nominal de la lámpara
- Pueden producir niveles de 100, 55 ó 38%
- Todas las lámparas que controla producen el mismo nivel, con lo que la uniformidad no se ve afectada.

Dimmers

Los dimmer son dispositivos usados para regular el flujo luminoso de una lámpara. Disminuyendo el voltaje de RMS es posible variar la intensidad de la luz, siempre y cuando las propiedades de ésta lo permitan (fundamentalmente se usa para lámparas incandescentes).

En general los Dimmers:

- Proveen un control suave y continuo en un amplio rango de niveles de iluminación.
- Existe un gran número de controles de este tipo, desde los sencillos de pared hasta los que envían una señal a un panel central de control.

1.4.6 Dispositivos de control por microprocesadores

Son dispositivos que cumplen con las funciones de encendido-apagado y dimmeo desde una central, pudiendo además, programarse estas funciones por horarios, días, meses y años para cada área de un edificio.

Operación

En general, todos operan de la misma forma:

- 1) Reciben señales de entrada
- 2) Analizan las señales de entrada por medio de un algoritmo
- 3) Emiten una señal de control (encendido, apagado, ajuste de la iluminación, etc.)

1.5 LUMINARIOS

Definición

Los luminarios son aparatos que distribuyen, filtran y/o transforman la luz emitida por una o varias lámparas y que contienen todos los accesorios necesarios para fijar y proteger las lámparas y conectarlas al circuito de alimentación de energía eléctrica.

A partir de esta definición general se pone de manifiesto que los luminarios deben poseer una serie de características que determinan su aptitud a la función que deben realizar. Estas características son de 3 tipos:

- Ópticas
- Mecánicas
- Eléctricas

De acuerdo con las características citadas con anterioridad, se pueden establecer distintas clasificaciones de luminarios, las cuales se detallan en los párrafos siguientes.



Figura 1.25 Luminarios

1.5.1 Clasificación de luminarios según características ópticas

Distribución del flujo luminoso

En función del porcentaje del flujo luminoso que es emitido por arriba y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara se establece la siguiente clasificación:

Tipo de luminario	% del flujo saliente inferior	Imagen
Directo	90-100	
Semi-indirecto	60-90	
General-difuso	40-60	
Directo-indirecto	40-60	
Semi-indirecto	10-40	
Indirecto	0-10	

**Tabla 1.18 Clasificación de los luminarios
(De acuerdo a la distribución del flujo luminoso)**

Geometría de la distribución de flujo luminoso

La emisión de luz en todo el espacio alrededor del luminario forma lo que se conoce como sólido fotométrico. El sistema óptico de un luminario persigue adaptar este sólido fotométrico a la aplicación de que se trate para potenciar la emisión de luz en unas direcciones convenientes. En general, el sólido fotométrico suele presentar una serie de simetrías que, en la información técnica de los fabricantes, se traduce en las conocidas *curvas fotométricas* o representaciones de la intensidad luminosa del conjunto luminario-fuente de luz, según unos planos de simetría determinados.

Por lo tanto, de acuerdo al número de planos de simetría que tenga el *sólido fotométrico* los luminarios se pueden dividir en:

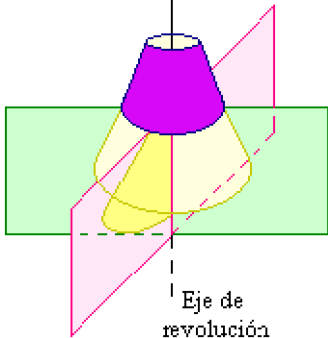
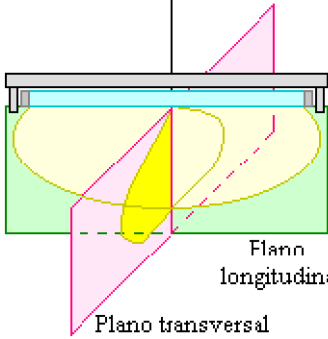
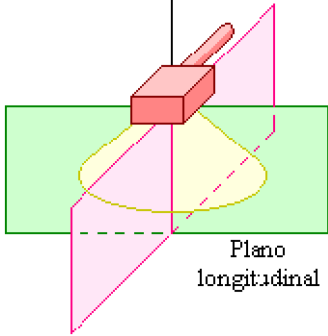
Tipo de luminario	Descripción	Imagen
Luminarios con un eje de simetría o eje de revolución	Una sola curva fotométrica es suficiente para definir totalmente la emisión de luz de la luminario.	
Luminarios con dos planos de simetría	Se requiere de dos curvas fotométricas para definir con suficiente exactitud la distribución luminosa. Estas curvas corresponden a los planos transversal y longitudinal del luminario.	
Luminarios con un plano de simetría	Sólo existe simetría con respecto a un plano. Un caso típico son los luminarios de alumbrado público. La definición de la emisión luminosa no se da en planos determinados, sino en puntos concretos del sólido fotométrico.	

Tabla 1.19 Clasificación de los luminarios (De acuerdo a la distribución del flujo luminoso)

Ángulo de apertura de haz

Ángulo de apertura del haz: se define como el ángulo (medido desde el eje vertical de el luminario) bajo el que se emite el 50% del flujo saliente del luminario.

Tomando como base el ángulo de apertura del luminario, se tiene la siguiente clasificación

Tipo de luminario	Ángulo de apertura
Intensivo	0-30
Semi-intensivo	30-40
Dispensor	40-50
Semi-extensivo	50-60
Extensivo	60-70
Hiper-extensivo	70-90

El diagrama muestra un haz de luz que emerge de un luminario (representado por un semicírculo a la izquierda). El eje central del haz está etiquetado como $I_{m\acute{a}x}$. El ángulo de apertura del haz, medido desde el eje central, está etiquetado como β . Las líneas que definen el límite del haz están etiquetadas como $\frac{1}{2} I_{m\acute{a}x}$. La etiqueta 'Apertura del haz' apunta al ángulo β .

**Tabla 1.20 Clasificación de los luminarios
(De acuerdo con el ángulo de apertura de haz)**

1.5.2 Clasificación de luminarios según características mecánicas

Esta clasificación está en función del grado de protección que los luminarios ejercen sobre la lámpara contra la penetración de cuerpos extraños (sólidos y líquidos), y el grado de protección del material contra daños mecánicos.

En general las normas internacionales indican los grados de protección mecánica mediante tres cifras características:

Primer cifra

Indica el grado de protección de las personas sobre los contactos con las partes bajo tensión o para las piezas en movimiento y también el grado de protección contra la penetración de cuerpos sólidos y polvo.

0	Ninguna protección
1	Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 50 mm (esfera de 50 mm de diámetro)
2	Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 12mm
3	Protegido contra hilo de acero de diámetro 2.5mm
4	Protegido contra hilo de acero de diámetro de 1 mm.
5	Protegido contra el polvo
6	Protección total contra el polvo

Segunda cifra

Indica el grado de protección contra la penetración de líquidos.

0	Ninguna protección
1	Protegido contra caída vertical de gotas de agua
2	Protegido contra caída de gotas de agua con una inclinación de 15°
3	Protegido contra la lluvia
4	Protegido contra las proyecciones de agua
5	Protegido contra los chorros de agua
6	Protegido contra los embates de mar
7	Protegido contra los efectos de inmersión
8	Protegido contra la inmersión prolongada

Tercer cifra

Indica el grado de protección contra los daños mecánicos

0	Ninguna protección
1	Resistencia al choque de 0.15 [Kg] caídos desde 0.15 m, (0.225 J de energía de choque)
2	Resistencia al choque de 0.25 [Kg] caídos desde 0.2 m, (0.5 J de energía de choque)
3	Resistencia al choque de 0.50 [Kg] caídos desde 0.4 m, (2 J de energía de choque)
4	Resistencia al choque de 1.50 [Kg] caídos desde 0.4 m, (6 J de energía de choque)

1.5.3 Clasificación de luminarios según características eléctricas

Los luminarios deben ser capaces de asegurar la protección de las personas contra contactos eléctricos. Según el grado de aislamiento eléctrico con que han sido fabricados, los luminarios pueden ser:

Tipo de luminario	Descripción
Clase 0	Provista únicamente de aislamiento funcional, sin dispositivos de puesta a tierra
Clase I	Provista de aislamiento funcional y dotadas de borne de puesta a tierra
Clase II	Provistas de doble aislamiento sin borne de puesta a tierra. Se utilizan como alternativa a las de clase I
Clase III	Luminario alimentado a muy baja tensión de seguridad, es decir, con tensiones menores a 50 V

1.5.4 Luminarios para lámparas incandescentes

Son luminarios diseñados en su mayoría para iluminación interior, fundamentalmente en los sectores doméstico y comercial. En el alumbrado doméstico, las consideraciones de tipo estético imperan sobre las puramente luminotécnicas, en tanto que en el alumbrado comercial se tiende a un compromiso entre ambos factores, prevaleciendo uno u otro según la aplicación concreta de que se trate.

Por el carácter de baja eficacia luminosa de las lámparas incandescentes (tanto en las convencionales como en las halógenas), los luminarios utilizados en las aplicaciones generales de interior, tratan de dirigir el flujo luminoso hacia direcciones determinadas, mediante sistemas de proyección, superficiales o empotrados y, a menudo, orientables.

Un aspecto importante de este tipo de luminarios es el control del deslumbramiento, dadas las luminancias elevadas motivadas por la reducida superficie del elemento emisor de luz (filamento).

1.5.5 Luminarios para lámparas fluorescentes

Actualmente las lámparas fluorescentes son las más utilizadas en aplicaciones comerciales de iluminación interior (oficinas, tiendas, almacenes, etc.), e incluso en el sector industrial cuando la altura de montaje es inferior a 6 metros.

La gama de luminarios fluorescentes es la más extensa, desde la forma más simple hasta los que incorporan sistemas de reflexión, direccionamiento y apantallamiento de luz emitida por la lámpara.

Los tipos de montaje más comunes son superficiales y empotrados. Existen modelos para albergar distintos arreglos de lámparas (desde una sola hasta n cantidad de ellas).

Los sistemas de direccionamiento y control de flujo luminoso se basan en la utilización de diferentes superficies ópticas:

Reflectores

Son superficies de tipo especular que refleja la luz emitida por una lámpara, aumentando la intensidad luminosa en ciertas direcciones. Los materiales más utilizados en los luminarios para tubos fluorescentes son:

- Acero esmaltado: de buena reflectancia (70%) y precio reducido; presenta los inconvenientes de su capacidad de adherencia al polvo, baja resistencia a la luz ultravioleta y peso elevado.
- Aluminio anodizado: de alta reflectancia (75-85%), escasa adherencia al polvo, estable a la luz ultravioleta, gran ligereza y precio elevado.
- Vidrio azogado: poco utilizado, a pesar de su gran reflectancia, ya que tiene un precio alto, peso elevado y gran fragilidad.

Refractores

También llamados *difusores prismáticos*, refractan la luz procedente de las lámparas y de los reflectores, en direcciones privilegiadas de forma que establecen un control de las intensidades luminosas y, parcialmente, del deslumbramiento.

En los luminarios de tubos fluorescentes se emplean, generalmente, los materiales plásticos, entre ellos:

- **Metacrilato:** prácticamente inalterable a la radiación ultravioleta y de buena resistencia mecánica; alta adherencia al polvo y precio moderado.
- **Polycarbonato:** ofrece la ventaja de su alta resistencia mecánica, pero su precio es sensiblemente más alto al anterior.

Difusores

Son elementos que recogen la luz de las lámparas y de los reflectores y la difunden prácticamente en todas direcciones. Son de materiales plásticos que contribuyen a disminuir la luminancia del luminario, entre ellos destacan:

- **Poliestireno:** se degrada sensible y rápidamente por efecto de la radiación ultravioleta, presenta gran capacidad de adherencia al polvo y su precio es reducido.
- **Metacrilato:** tiene las características mencionadas en el apartado anterior.

Rejillas

El apantallamiento de los luminarios se asegura de un modo más eficaz, comparado con los refractores y difusores, mediante la utilización de rejillas.

- **Rejilla cuadrada:** como elemento de cierre del luminario asegura el apantallamiento de las direcciones longitudinal y transversal.
- **Rejilla transversal:** Proporciona únicamente apantallamiento en el sentido longitudinal.

CAPÍTULO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente capítulo es el de brindar los aspectos y las herramientas que se deben considerar para realizar la propuesta de un sistema de iluminación.

Un sistema de iluminación debe cumplir tres objetivos principales:

- 1) Proveer el nivel de iluminación requerido basado en las tareas a realizar.
- 2) Brindar iluminación confortable.
- 3) Minimizar el uso de energía sin sacrificar los puntos anteriores.

Los dos primeros incisos engloban las características que debe cumplir un sistema de iluminación para poder ser denominado **óptimo**. El último inciso es la característica primordial que se debe cumplir para que el sistema de iluminación también pueda ser catalogado como **eficiente**.

Para lograr el objetivo número uno, que es obtener el nivel de iluminación requerido, se cuentan con diversos métodos (los cuales se estudiarán en el presente capítulo):

- a) Método de lumen
- b) Método de punto por punto
- c) Método por computadora

Es preciso enfatizar en que aunque existen diversos puntos que se deben contemplar a la hora de realizar el diseño de un sistema de iluminación, el objetivo de proporcionar un óptimo nivel de iluminancia de acuerdo con las tareas que se realizarán en el área de estudio es el aspecto básico que se debe cumplir, es por esta razón que es importante tener presente los métodos existentes para el cálculo de iluminación.

Con el fin de seleccionar alguno de los métodos de cálculo de iluminación mencionados, lo primero que se debe realizar es la identificación del tipo de sistema de iluminación que se requiere instalar (de acuerdo al área que se desea iluminar).

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Los sistemas de iluminación, tomando como referencia el grado de uniformidad con que reparten la luz, se clasifican en:

- Sistema de iluminación general
- Sistema de iluminación general localizada
- Sistema de iluminación localizada

2.2.1 Sistema de iluminación general

Consiste en conseguir una iluminación totalmente uniforme, sobre toda la superficie a iluminar, con los niveles necesarios, en función de la tarea a desarrollar dentro del local, de tal forma que de existir puestos de trabajo, éstos puedan ser intercambiables en toda el área iluminada.

Este sistema de iluminación tiene su uso habitualmente en:

- Oficinas
- Centros de enseñanza
- Fabricas
- Comercios

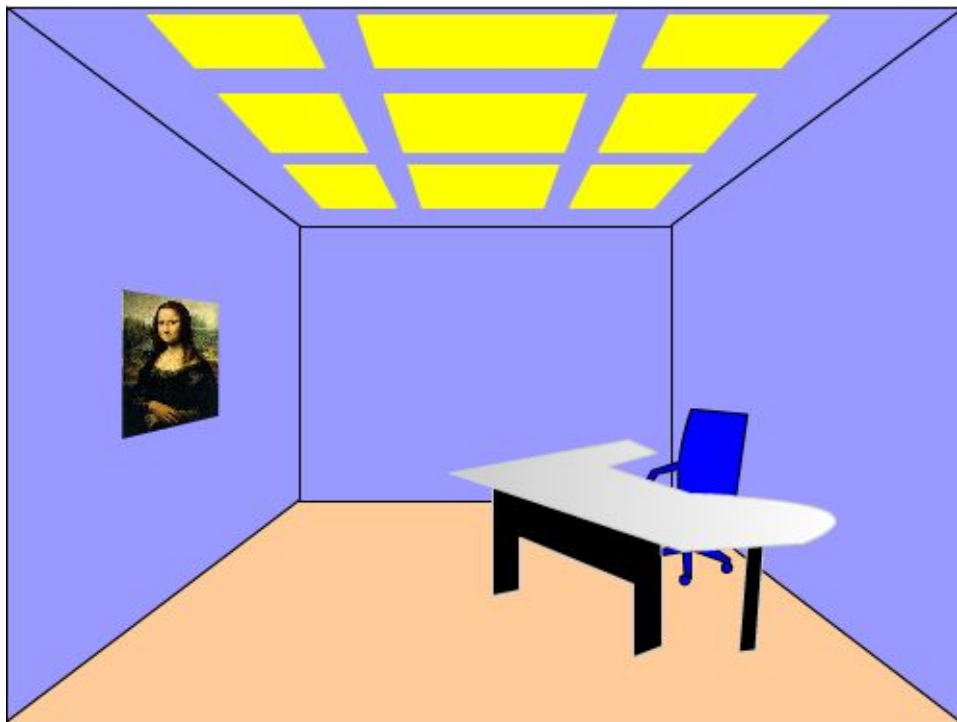


Figura 2.1 Sistema de iluminación general

2.2.2 Sistema de iluminación general localizada

Proporciona una distribución no uniforme de la luz de manera que esta se concentra sobre las áreas de trabajo. El resto del local, formado principalmente por las zonas de paso se ilumina con una luz más tenue.

La correcta utilización de este sistema de iluminación consigue importantes ahorros energéticos, ya que la luz se concentra específicamente en donde se ubican los puestos de trabajo.

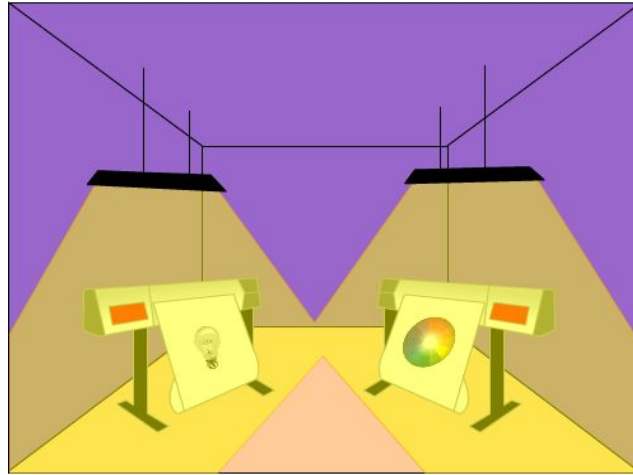


Figura 2.2 Sistema de iluminación general localizada

2.2.3 Sistema de iluminación localizada

En este tipo de iluminación, se dispone de una tenue iluminación general, que permite moverse y distinguir los objetos dentro del local y compensar con una iluminación localizada y directa sobre las superficies u objetos o destacar, para conseguir un alto nivel de iluminación y una percepción, muy notable, de los elementos a destacar.

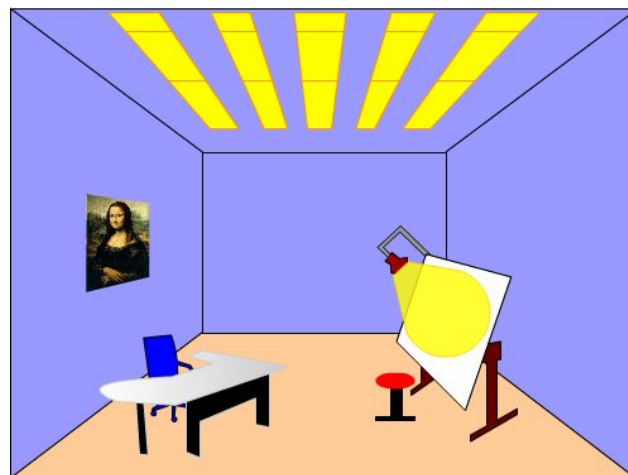


Figura 2.3 Sistema de iluminación localizada

2.3 PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE ILUMINACIÓN

Independientemente del método de cálculo de iluminación utilizado, existen algunos parámetros básicos en todo sistema de iluminación que se deben tener presentes.

2.3.1 Parámetros arquitectónicos

Los parámetros arquitectónicos del área que se desea iluminar (cuarto, local, etc.) son importantes, ya que estos influyen directamente en el cálculo de la iluminancia.

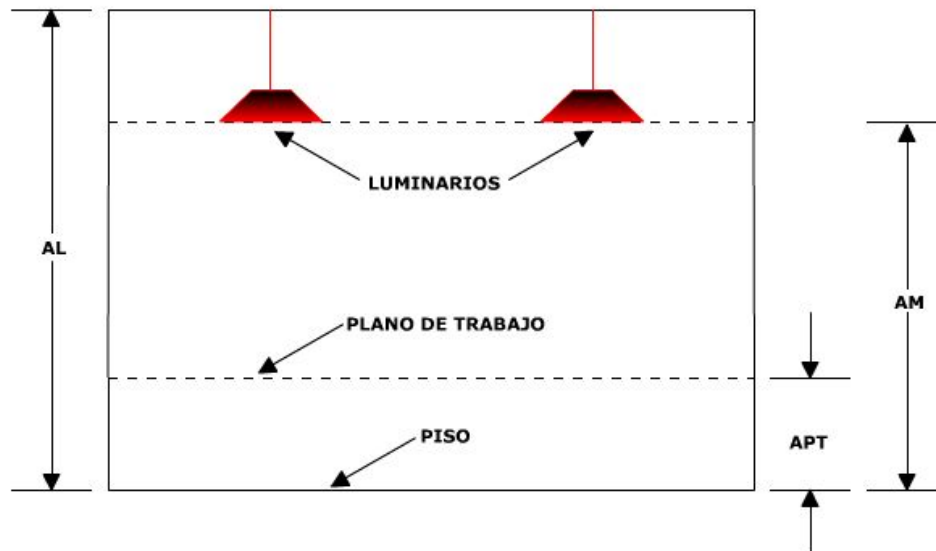


Figura 2.4 Parámetros arquitectónicos para el cálculo de iluminación

AL (ALTURA DEL LOCAL)

Es la altura que tiene el cuarto (local) que se desea iluminar.

APT (ALTURA DEL PLANO DE TRABAJO)

Es la altura en la que se encuentra el plano de trabajo, es decir, la altura en la que se realizan las tareas propias del local.

AM (ALTURA DE MONTAJE)

Es la altura en la que se encuentra suspendido el luminario.

L (LONGITUD DEL LOCAL)

Es la longitud total del local.

A (ANCHO DEL LOCAL)

Es el ancho total del local.

2.3.2 Coeficientes

Coeficiente de utilización (CU)

Las lámparas de un luminario generan una cierta cantidad de lúmenes, pero únicamente parte de esos lúmenes salen del luminario. El resto es absorbido por los diferentes elementos que forman el propio luminario (a la relación entre los lúmenes que salen del luminario y los lúmenes totales producidos por las lámparas que se encuentran dentro del luminario se le denomina eficiencia del luminario y se da usualmente en por ciento). La luz que escapa sufre pérdidas posteriores debidas a la geometría del local y a la reflectancia de sus superficies. Entonces:

El coeficiente de utilización (CU) es la relación entre el flujo luminoso generado por la lámpara (flujo total) y el flujo luminoso que finalmente incide en el plano de trabajo (flujo útil).

$$CU = \frac{\phi_U}{\phi_T} \quad (2.a)$$

Donde:

CU = Coeficiente de utilización.

ϕ_U = Flujo luminoso útil, dado en Lúmenes [lm].

ϕ_T = Flujo luminoso total, dado en Lúmenes [lm].

Este factor, para una instalación determinada, depende de diversas variables como son:

- Eficacia del luminario
- Distribución luminosa del luminario
- Altura de montaje
- Reflectancia en paredes, techo y suelo de la zona iluminar

Se aprecia que el coeficiente de utilización (CU) depende por una parte de las características de los luminarios, y por otra de las características del local a iluminar.

Es importante señalar que la forma en que se calcula este coeficiente es una de las variantes principales existente entre los distintos métodos de cálculo de iluminación.

Depreciación por suciedad del local (DPSL)

Compensa las pérdidas, ocasionadas por la suciedad de las superficies del local, en la reflectancia.

El DPSL se determina mediante tablas.

Factor de pérdida de luz (FPL)

El paso del tiempo provoca una reducción gradual en los niveles de iluminancia. Los lúmenes emitidos por la lámpara disminuyen cuando ésta envejece; además, la suciedad en las lámparas y luminarios reduce la eficiencia y la suciedad del local atenúan la reflectancia. Debido a que el nivel de iluminación usualmente es calculado como un valor mantenido (un nivel mínimo recomendado), la iluminancia proyectada requiere un nivel inicial mayor; por lo tanto, la ecuación (2.a) debe ser modificada mediante la inclusión de "factores de depreciación" compensadores.

Depreciación de los lúmenes de la lámpara (DLL)

Este factor compensa las pérdidas de los lúmenes de salida de la lámpara.

El factor DLL es proporcionado por el fabricante de la lámpara.

Depreciación por polvo en el luminario (DPL)

Compensa las pérdidas ocasionadas por la acumulación de polvo en lámparas y luminarios. El valor depende del diseño del luminario y de las condiciones ambientales; por ejemplo, la pérdida es mucho mayor en una metalúrgica que en una oficina con aire acondicionado y filtrado.

El factor DPL se determina con exactitud aceptable mediante el empleo de tablas o gráficas.

2.4 MÉTODO DE LOS LÚMENES

Descripción

El método de los lúmenes se emplea específicamente para cálculos de sistemas de iluminación general.

Este método de cálculo de iluminación general tiene como finalidad proveer el nivel medio de la iluminancia requerida en un área específica. Es muy práctico y fácil de emplear, por estas razones se utiliza mucho para el cálculo de iluminación en interiores cuando la precisión y exactitud de la iluminación requerida no es muy alta.

Áreas de aplicación

Sus resultados son generalmente más representativos de un caso real y puede aplicarse a cualquier tipo de sistema de iluminación en locales regulares (rectangulares, cuadrados).

Clasificación

Este método tiene diferentes variantes, según el país de procedencia:

- DIN-LITG: alemán
- UTE: francés
- BC: inglés
- Método de cavidades zonales: norteamericano

Procedimiento

Los pasos generales a seguir para la aplicación de este método son los siguientes:

1) *Determinar de nivel medio de iluminación requerido*

Este valor depende del tipo de actividades que se realizan en el local que se desea iluminar y podemos encontrarlo tabulado en normas.

2) *Seleccionar el conjunto lámpara-luminario*

Se debe elegir el conjunto lámpara-luminario más adecuado, tomando en consideración el lugar de la instalación, altura de montaje así como las tareas que se realizan en el local.

3) *Cálculo de los coeficientes de utilización y de conservación.*

Generalmente estos coeficientes se encuentran en tablas que otorgan los fabricantes de luminarios.

Estos coeficientes son primordiales, ya que forman parte de la ecuación básica para el cálculo de iluminación.

4) *Calcular el flujo luminoso necesario para satisfacer el nivel de iluminación requerido.*

Una vez determinado el nivel medio de iluminación que se requiere para la superficie a iluminar y los coeficientes de utilización y conservación, se procede a determinar el flujo luminoso total necesario para conseguir dicho nivel de iluminación.

5) *Determinar el número de luminarios necesarios.*

Ya que se realizó la selección del conjunto lámpara-luminario, se puede calcular cuántos luminarios se necesitan en función del flujo luminoso total que se requiere.

6) *Realizar la distribución de los luminarios.*

La distribución dependerá del tipo de sistema de iluminación que se está instalando. En caso de que se trate de un sistema de iluminación general, la distribución debe ser totalmente uniforme.

Resultados esperados

Con la aplicación de este método se puede obtener como resultado:

- a) El nivel medio de iluminancia de un sistema de iluminación ya instalado.
- b) El sistema de iluminación necesario para obtener un nivel medio de iluminación específico.

2.4.1 Método de cavidad zonal

2.4.1.1 Semblanza

El *Método de Cavidad Zonal* para el cálculo de niveles de iluminancia, el cual es un caso particular del método de los lúmenes, fue desarrollado por la **Illuminating Engineering Society of North América (IESNA)**, para determinar los niveles de iluminación promedio proporcionado por los luminarios dentro de un espacio cerrado. Este método es preferido sobre otros no porque sea en todos los casos el más exacto, sino porque es relativamente simple y flexible.

2.4.1.2 Fundamentos teóricos

El fundamento del método de cavidad zonal es que el local (cuarto) que se desea iluminar se componen de tres espacios o cavidades sobrepuestas:

- Cavidad del techo: el espacio entre el techo y los luminarios.
- Cavidad del piso: el espacio entre el plano de trabajo y el piso.
- Cavidad del local: el espacio entre los luminarios y el plano de trabajo.

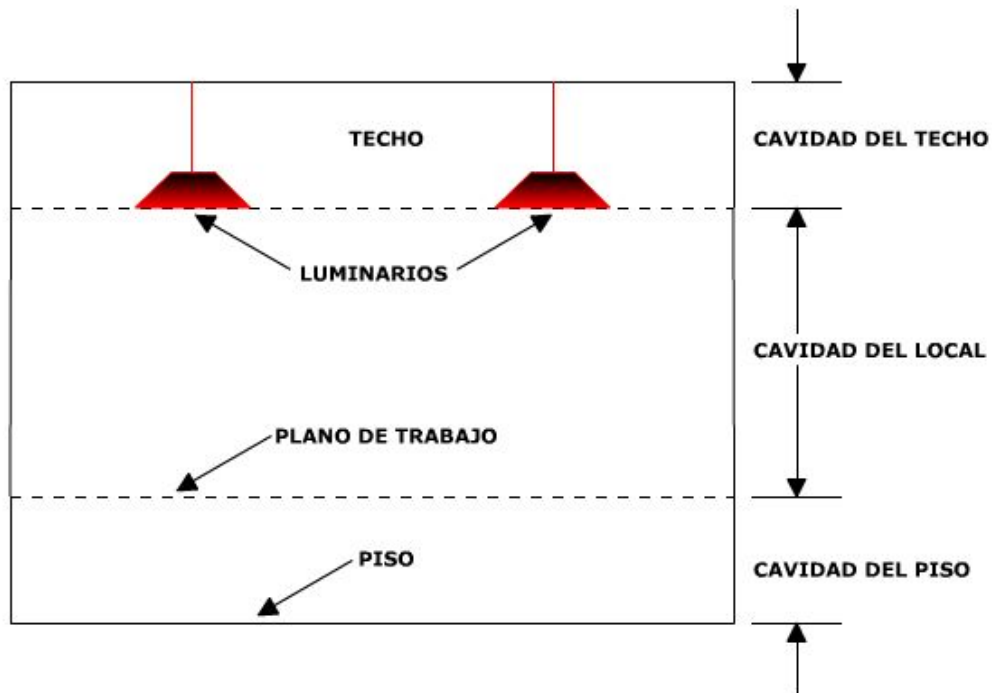


Figura 2.5 Cavidad del techo, cavidad del local y cavidad del piso

2.4.1.3 Fundamentos matemáticos

Este método considera el comportamiento de la luz en cada cavidad antes de que la luz alcance el plano de trabajo, es decir, considera el efecto que tiene la interreflectancia sobre el nivel de la iluminancia.

Aunque considera muchas variables, la premisa básica matemática básica es la definición de iluminancia:

$$E = \frac{\phi}{A}$$

El cálculo de la iluminación está basado en el nivel de iluminancia requerida en el plano de trabajo:

$$E = \frac{\phi}{A} \quad (2.1)$$

Donde:

E = Iluminancia, dada en Luxes [lx].

ϕ = Flujo luminoso, dado en Lúmenes [lm].

A = Área, dada en metros cuadrados [m²].

Esta es la ecuación básica de iluminancia y en ella se asume que todo el flujo luminoso dado en lúmenes incide en el plano de trabajo. En la práctica, existen un gran número de parámetros que afectan al sistema de iluminación. El método de cavidad zonal involucra cuatro parámetros principales que deben ser considerados para incorporarlos en la ecuación (2.1):

- a) Coeficiente de utilización (CU)
- b) Depreciación de los lúmenes de la lámpara (DLL)
- c) Depreciación por polvo en los luminarios (DPL)
- d) Depreciación por la suciedad del local (DPSL)

Ecuación final de iluminancia

Integrando todos estos factores a la ecuación (2.1) queda como sigue:

$$E = \frac{\phi * CU * DLL * DPL * DPSL}{A} \quad (2.2)$$

Definiendo el FPL como el factor de pérdida de lúmenes, tenemos que:

$$FPL = DLL * DPL * DPSL \quad (2.3)$$

Sustituyendo la ecuación (2.3) en (2.2)

$$E = \frac{\phi * CU * FPL}{A} \quad (2.4)$$

El cálculo de iluminación implica la determinación del número total de lúmenes y por tanto de la cantidad de luminarios requeridos para producir un nivel de iluminancia previamente seleccionado. Entonces, es conveniente despejar de la ecuación cuatro el flujo luminoso para determinar el total de lúmenes requeridos:

$$\phi = \frac{E * A}{CU * FPL} \quad (2.5)$$

Cada luminario tiene un número conocido de lámparas y cada lámpara genera una cantidad de lúmenes. Por lo tanto, la cantidad de lúmenes producidos dentro de cada luminario es:

$$\phi_{LUMINARIO} = (N^{\circ} LÁMPARAS) * \phi_{LÁMPARA} \quad (2.6)$$

Donde:

$\Phi_{LUMINARIO}$ = Flujo luminosos por luminario, dado en Lúmenes [lm]

$N^{\circ} LÁMPARAS$ = Número de lámparas por luminario.

$\Phi_{LÁMPARA}$ = Flujo luminosos por lámpara, dado en Lúmenes [lm]

Ya que se tiene el flujo total que emite un luminario, se puede definir el flujo total que se encuentra instalado en un sistema de iluminación como:

$$\phi_{TOTAL} = (N^{\circ} LUMINARIOS) * \phi_{LUMINARIO} \quad (2.7)$$

Donde:

Φ_{TOTAL} = Flujo luminosos total del sistema de iluminación, dado en Lúmenes [lm]

$N^{\circ} LUMINARIOS$ = Número total de luminarios.

$\Phi_{LUMINARIO}$ = Flujo luminosos por luminario, dado en Lúmenes [lm]

Entonces, empleando la ecuación (2.7) en (2.4), tenemos que:

$$E = \frac{\phi_{TOTAL} * CU * FPL}{A} = \frac{N^{\circ} LUMINARIOS * \phi_{LUMINARIO} * CU * FPL}{A}$$

$$E = \frac{N^{\circ} LUMINARIOS * \phi_{LUMINARIO} * CU * FPL}{A} \quad (2.8)$$

La ecuación (2.8) define la iluminancia útil que llega al plano de trabajo.

Ecuaciones básicas

Después del análisis matemático anterior, las ecuaciones básicas que se emplean en el método cavidad zonal:

# de ecuación	Expresión	Aplicación
2.A	$E = \frac{N^{\circ} LUMINARIOS * \phi_{LUMINARIO} * CU * FPL}{A}$	Se utiliza cuando se requiere calcular el nivel medio de iluminación de un sistema ya instalado.
2.B	$N^{\circ} LUMINARIOS = \frac{E * A}{\phi_{LUMINARIO} * CU * FPL}$	Se utiliza cuando se requiere determinar el número de luminarios necesarios para cumplir un nivel específico de iluminación.

Tabla 2.1 Ecuaciones básicas del método cavidad zonal

Donde:

E = Iluminancia requerida o existente, dada en Luxes [lx].

$N^{\circ} LUMINARIOS$ = Número total de luminarios.

$\phi_{LUMINARIO}$ = Flujo luminoso por luminario, dado en Lúmenes [lm].

CU = Coeficiente de utilización.

FPL = Factor de pérdida de lúmenes.

A = Área del local [m²].

2.4.1.4 Procedimiento

Los pasos básicos para la ejecución del método de cavidad zonal, en general, son los mismos descritos en el texto relacionado con el procedimiento del método de los lúmenes (punto 2.4 de este capítulo).

Los pasos particulares de este método (los cuales radican a la hora de calcular el CU) son:

- a) Determinar las relaciones de cavidad.
- b) Determinar las reflectancias efectivas de las cavidades.
- c) Determinar el CU de tablas (coeficiente de utilización).

a) Determinación de relaciones de cavidad

Suponiendo un local rectangular dividido en tres cavidades horizontales, cada una limitada verticalmente por las paredes:

- Cavidad del techo: el espacio entre el techo y los luminarios.
- Cavidad del piso: el espacio entre el plano de trabajo y el piso.
- Cavidad del local: el espacio entre los luminarios y el plano de trabajo.

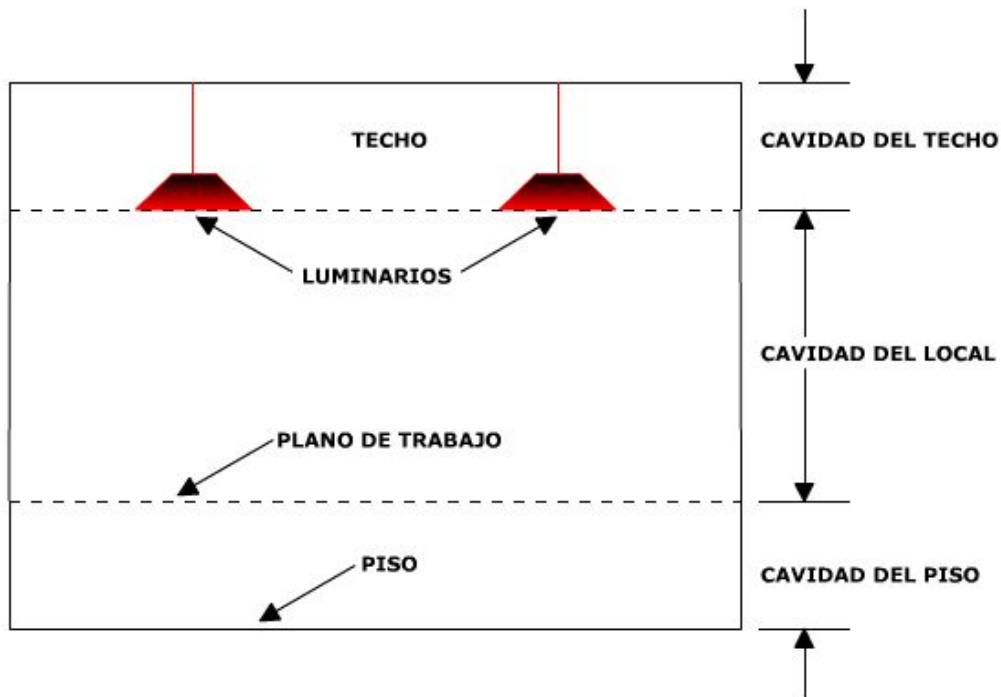


Figura 2.6 Cavidad del techo, cavidad del local y cavidad del piso

Definición

Dentro de estas cavidades, la luz interreflejada se comporta de una forma que depende de la relación de área vertical sobre horizontal; por lo tanto, el primer paso para determinar ese comportamiento implica la determinación de las relaciones del área vertical sobre el área horizontal en cada una de las cavidades. Esas son las llamadas "Relaciones de Cavidad" (RC).

Existen tres relaciones de cavidad:

- RCT: Relación de cavidad de techo
- RCL: Relación de cavidad de local
- RCP: Relación de cavidad de piso

La figura 2.7 muestra las dimensiones básicas del local:

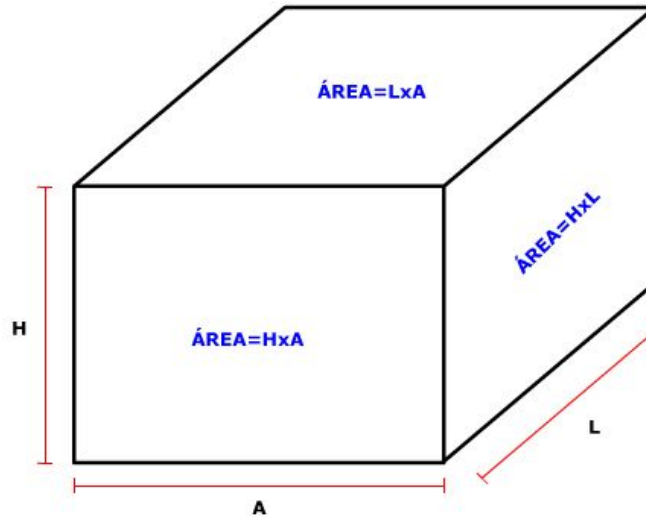


Figura 2.7 Dimensiones de un local

Donde:

H= Altura del local [m].

A= Ancho de local [m].

L= Largo del local [m].

Realizando el cálculo de las áreas de paredes, suelo y techo se tiene que:

Descripción del área	Cálculo
Área de cada pared frontal o posterior	$H \times A$
Área de cada pared lateral	$H \times L$
Área total de paredes	$[2(H \times A) + 2(H \times L)] = 2H(L + A)$
Área de techo	$L \times A$
Área de piso	$L \times A$
Área de techo mas piso	$2(L \times A)$

Tabla 2.2 Área de paredes, suelo y techo

De la definición de relaciones de cavidad sabemos que:

$$RC = \frac{\text{ÁreaVertical}}{\text{ÁreaHorizontal}} = \frac{\text{ÁreaParedFrontal} + \text{ÁreaParedLateral}}{\text{ÁreaPiso} + \text{ÁreaTecho}} = \frac{2H(L + A)}{2(L \times A)}$$

Por lo tanto, la fórmula general para calcular las **relaciones de cavidad** es:

# de ecuación	Expresión	Aplicación
2.C	$RC = \frac{H(L + A)}{L \times A}$	Cálculo de relaciones de cavidad

Tabla 2.3 Fórmula general para el cálculo de las relaciones de cavidad

Para lograr entrar a las tablas de CU's (Coeficientes de Utilización) se tiene que multiplicar la ecuación (2.C) por un factor de 5, por lo que finalmente la expresión que se va a utilizar para el cálculo de las relaciones de cavidad es:

# de ecuación	Expresión	Aplicación
2.D	$RC = \frac{5H(L+A)}{L \times A}$	Cálculo de relaciones de cavidad (Ecuación con factor de corrección)

Tabla 2.4 Fórmula general para el cálculo de las relaciones de cavidad (con factor de corrección)

Finalmente, de la ecuación 2.D se puede realizar el cálculo para cada una de las relaciones de cavidad:

# de ecuación	Expresión	Aplicación
2.E	$RCT = \frac{5HCT(L+A)}{L \times A}$	Relación de cavidad de techo
2.F	$RCL = \frac{5HCL(L+A)}{L \times A}$	Relación de cavidad de local
2.G	$RCP = \frac{5HCP(L+A)}{L \times A}$	Relación de cavidad de piso

Tabla 2.5 Ecuaciones para cada una de las relaciones de cavidad

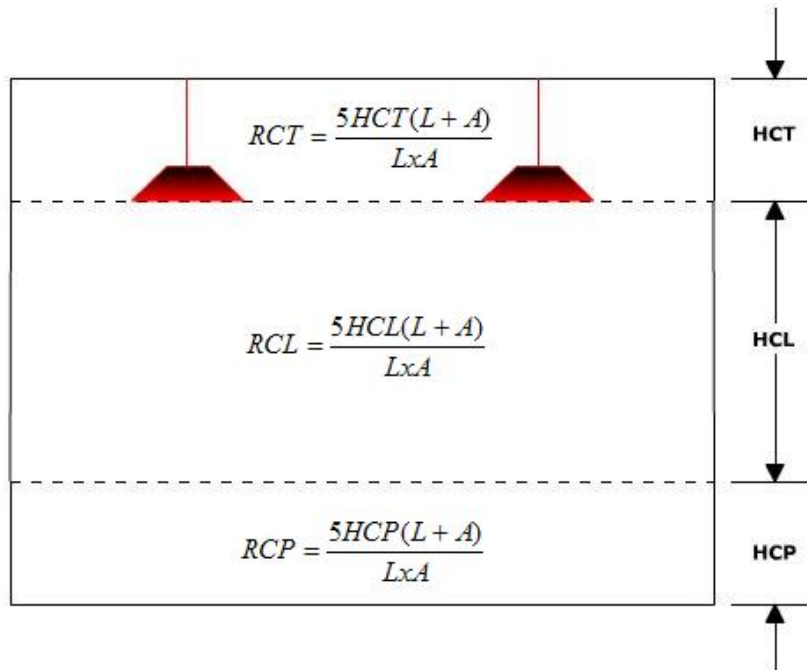


Figura 2.8 Cálculo de las relaciones de cavidad

b) Determinación de las reflectancias efectivas de las cavidades

Para obtener los datos suficientes para la determinación del CU se necesita un paso más:

Determinar las "Reflectancias efectivas de las cavidades de techo y piso".

Estas reflectancias pueden ser localizadas mediante tablas, en las cuales se debe entrar mediante la combinación aplicable de relaciones de cavidad y las reflectancias básicas del techo, paredes y piso.

Cuando la luz sale del luminario lo hace en varias direcciones. Cualquier haz de luz rebota un número considerable de veces de una superficie a otra. Cada rebote genera pérdidas (por absorción) y reflexiones de luz. Este es el proceso de interreflección que produce reflectancias en las cavidades.

Entonces, los valores que se deben encontrar son:

- PCT: Reflectancia efectiva de la cavidad de techo.
- PCP: Reflectancia efectiva de la cavidad de piso.
- PW: Reflectancia efectiva de pared.

c) Determinación del CU (coeficiente de utilización)

Los coeficientes de utilización (CU's) se establecen para cada luminario en particular a partir de pruebas fotométricas en los laboratorios del fabricante o en laboratorios independientes.

Para extraer el coeficiente de utilización se debe de utilizar a las tablas (proporcionadas por el fabricante del luminario) teniendo como datos de entrada: PCT, PCP y PW.

Las tablas de coeficientes de utilización son lineales, por lo que se pueden hacer interpolaciones para relaciones de cavidad exactas.

2.5 MÉTODO DE PUNTO POR PUNTO

El método de punto por punto es aplicable para el cálculo de iluminación localizada (sistema de iluminación localizada).

A diferencia del "método de los lúmenes" donde se calcula el nivel medio de iluminación, el "método de punto por punto" consiste en la determinación de los niveles de iluminación en puntos concretos contenidos en el plano de trabajo.

2.5.1 Fundamentos teóricos y matemáticos

Se considera que la iluminancia en un punto del plano de trabajo es la suma proveniente de dos fuentes:

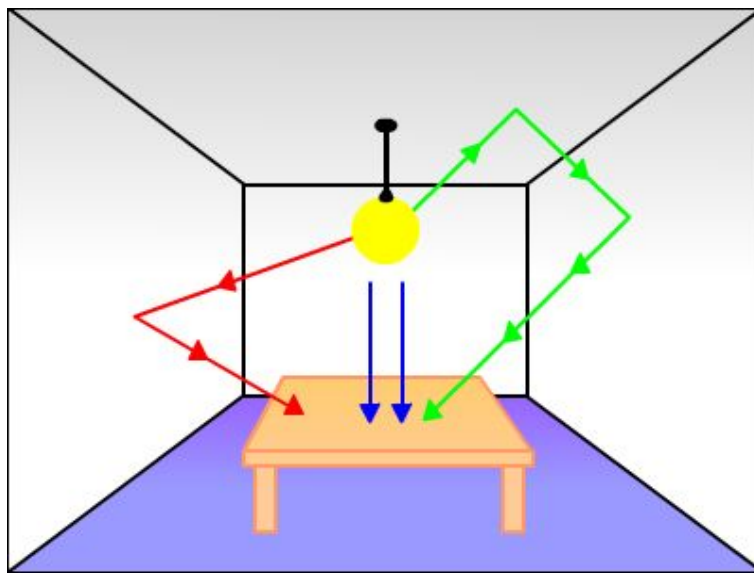
$$E_{TOTAL} = E_{DIRECTA} + E_{INDIRECTA}$$

Donde:

E_{TOTAL} : Iluminancia total en un punto del plano de trabajo, dada en Luxes [lx].

$E_{DIRECTA}$: Iluminancia directa en un punto del plano de trabajo, dada en Luxes [lx].

$E_{INDIRECTA}$: Iluminancia indirecta en un punto del plano de trabajo, dada en Luxes [lx].



- Luz directa
- Luz indirecta proveniente del techo
- Luz indirecta proveniente de las paredes

Figura 2.9 Tipos de iluminancia

Iluminancia directa

Se denomina iluminancia directa a la iluminación producida por la luz que llega al plano de trabajo directamente de los luminarios.

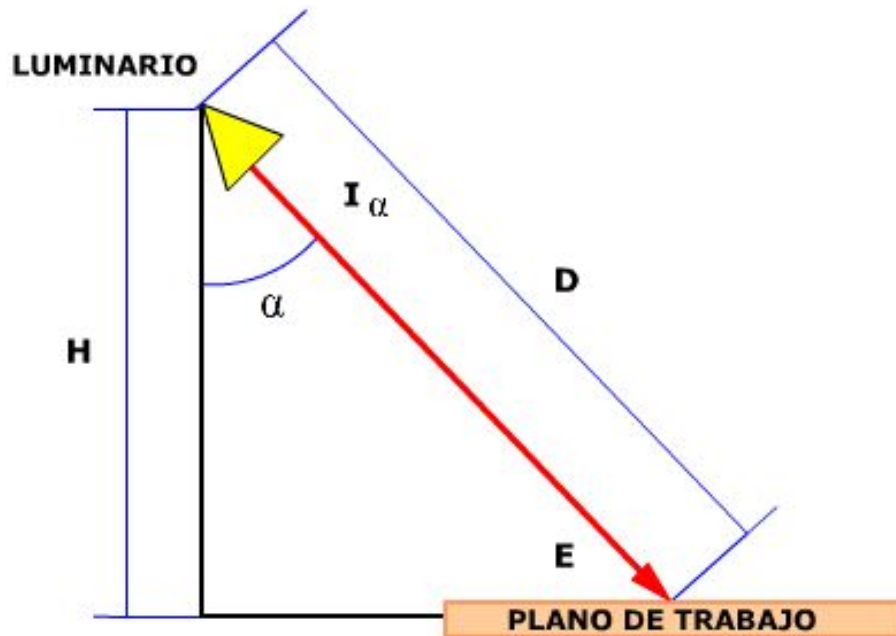


Figura 2.10 Iluminancia directa

Aplicando la "ley de la inversa del cuadrado de la distancia", se tiene que:

$$E = \frac{I_{\alpha}}{D^2} \quad (2.9)$$

La expresión anterior se utiliza cuando el flujo luminoso incide perpendicularmente en el plano de trabajo, pero cuando se tiene un ángulo de incidencia se debe emplear la siguiente:

$$E = \frac{I_{\alpha}}{D^2} \cos \alpha \quad (2.10)$$

En general, resulta más sencillo obtener la altura de montaje del luminario (H) que la distancia del luminario al punto de cálculo (D), por lo que podemos dejar la ecuación anterior en función de H:

$$H = D \cos \alpha \Rightarrow D = \frac{H}{\cos \alpha} \quad (2.11)$$

Sustituyendo (2.11) en (2.10):

# de ecuación	Expresión	Aplicación
2.H	$E = \frac{I_{\alpha}}{H^2} \cos^3 \alpha$	Cálculo de la iluminación directa de un luminario (en función de la altura de montaje).

Tabla 2.6 Ecuación para el cálculo de iluminación directa

Donde:

E: Iluminancia, dada en luxes [lx].

I : Intensidad luminosa, dada en candelas [cd].

H: Altura de montaje del luminario, dada en [m].

: Ángulo de incidencia, dado en grados [°].

En resumen, el *procedimiento* para calcular la iluminación directa que provee un luminario en un punto específico del plano de trabajo es:

- a) Obtener la información arquitectónica del área de estudio (ancho, largo, altura de montaje del luminario, etc.)
- b) Obtener la información fotométrica (curvas fotométricas) del luminario instalado.
- c) Definir el punto de estudio.
- d) De la información fotométrica obtenida en el inciso b), obtener la intensidad luminosa I_{α} existente en el punto seleccionado en el inciso anterior.
- e) Sustituir la intensidad luminosa I , el ángulo de incidencia y la altura de montaje en la ecuación (H).

Iluminancia indirecta

Se considera que la iluminación indirecta es producto de la luz reflejada en techo, paredes y suelo del local que se está iluminando.

Para calcular la componente indirecta se supone que la distribución luminosa de la luz reflejada es uniforme en todas las superficies del local incluido el plano de trabajo. De esta manera, la componente indirecta de la iluminación de una fuente de luz para un punto cualquiera de las superficies que forman el local se calcula como:

# de ecuación	Expresión	Aplicación
2.I	$E_{INDIRECTA} = \frac{\phi}{F_T} * \frac{\rho_m}{1 - \rho_m}$	Cálculo de la iluminación indirecta de un luminario.

Tabla 2.7 Ecuación para el cálculo de iluminación indirecta

Donde:

$E_{INDIRECTA}$	Iluminación indirecta, dada en luxes [lx].
$F_T = \sum_n F_i$	Suma del área de todas las superficies del local, dada en metros [m].
$\rho_m = \frac{\sum_n \rho_i \cdot F_i}{\sum_n F_i}$	Reflectancia media de las superficies del local, siendo ρ_i la reflectancia de la superficie F_i .
ϕ	Flujo luminoso del luminario, dado en lúmenes [lm].

Tabla 2.8 Definición de los componentes de la ecuación para el cálculo de iluminación indirecta

2.6 MÉTODO POR COMPUTADORA

Los cálculos de diseño de iluminación, actualmente se realizan con el uso de programas de computadoras (software de iluminación), habiendo sustituido por completo este medio a los métodos manuales que hemos descrito en el presente capítulo (método de los lúmenes, método de punto por punto, etc.), aunque hay que hacer énfasis en que éstos son el fundamentos de los programas de cómputo.

Metodología

El procedimiento para emplear un software de iluminación se puede generalizar al siguiente diagrama:



Figura 2.11 Software de iluminación (esquema)

Los datos de entrada y de salida dependen del software que se esté empleando, pero existen parámetros que generalmente todos los programas informáticos para el cálculo de iluminación manejan.

Los *datos de entrada* son:

- Dimensiones arquitectónicas del local.
- Coeficientes de reflexión de las paredes así como del suelo y del techo (reflectancias).
- Luminario que se desea instalar.
- Método con el que se desea realizar el cálculo (método de los lúmenes, método de punto por punto, etc.).

Los datos de salida que obtenemos son:

- Iluminancia media
- Iluminancia mínima
- Iluminancia máxima

CAPÍTULO 3 ILUMINACIÓN ACTUAL EN UNICA (CASO BASE)

En el presente capítulo se realizará un análisis integral de la situación actual del sistema de iluminación instalado en las oficinas de la Unidad de Cómputo Académico (**UNICA**) de la Facultad de Ingeniería (**FI**) de la UNAM. Este análisis considera diversos aspectos importantes para evaluar las condiciones en las que se encuentra un sistema de iluminación.

- **Análisis arquitectónico:** los datos arquitectónicos (ancho, largo, alto, tipo de pared, etc.) del área de estudio son parámetros que influyen de manera directa al nivel de iluminación, por lo que es necesario realizar un análisis de estos datos.
- **Análisis lumínico:** el objetivo de este análisis es el de conocer las características del equipo de iluminación que se encuentra instalado, así mismo las características de la iluminación que produce dicho equipo.
- **Análisis eléctrico:** todo sistema de iluminación representa una carga eléctrica, es por esta razón que se debe realizar un estudio eléctrico de dicha carga. Este estudio permitirá observar cómo influye el sistema de iluminación en la instalación eléctrica del lugar.
- **Análisis económico:** otro punto fundamental que se debe tomar en cuenta cuando se realiza un proyecto es el aspecto económico. El estudio económico de un sistema de iluminación permite evaluar que tan viable resulta implementar o mantener dicho sistema funcionando.
- **Análisis ecológico:** este aspecto se debe considerar en todo proyecto. El funcionamiento de un sistema de iluminación consume cierta cantidad de energía, la cual es producida por una planta de generación eléctrica (térmica, hidráulica, eólica, núcleo-eléctrica, etc.), lo que implica que dicho sistema contribuye con un cierto nivel de contaminación. El análisis ecológico tiene como objetivo cuantificar el nivel de gases contaminantes que se producen por el hecho de que el sistema de iluminación se encuentre en funcionamiento.

Después de realizar cada uno de los estudios antes mencionados se tendrán las herramientas necesarias para poder concluir que tan óptimo y eficiente es el sistema de iluminación actualmente instalado en las oficinas de UNICA.

3.1 ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO

El análisis arquitectónico resulta de gran importancia, ya que uno de los puntos que influyen en la iluminación existente en un local de trabajo es la arquitectura del mismo.

Las oficinas de UNICA se encuentran ubicadas dentro de Ciudad Universitaria, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. En la *figura 3.1* se aprecia un croquis general de Ciudad Universitaria, en donde se puede ubicar la Facultad de Ingeniería.



Figura 3.1 Croquis general de Ciudad Universitaria

En la *figura 3.2* se observa la ubicación de UNICA dentro de la FI.

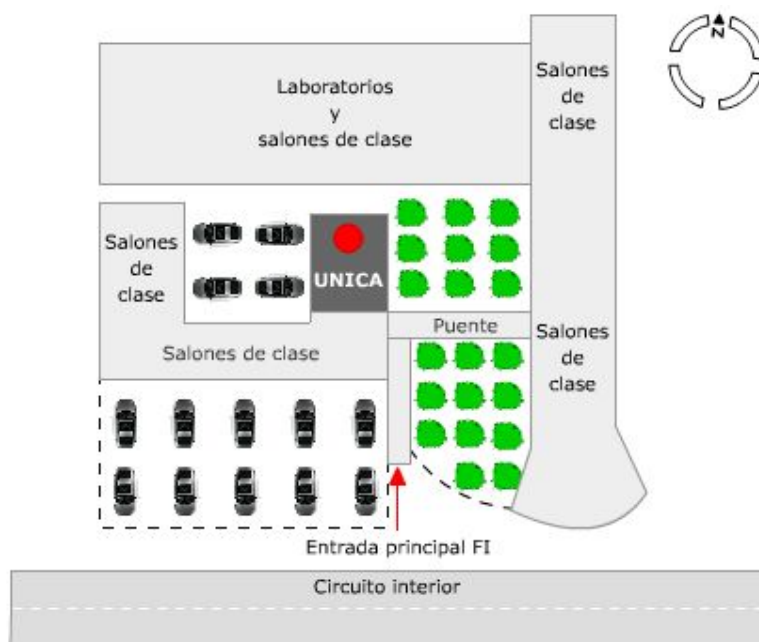


Figura 3.2 Croquis general de la Facultad de Ingeniería

Las instalaciones de UNICA se componen de 5 cubículos:

- 1) Cubículo del área Web
- 2) Cubículo general de becarios
- 3) Jefatura del Departamento de Seguridad en Cómputo (DSC)
- 4) Jefatura del Departamento de Servicios Académicos (DSA)
- 5) Jefatura del Departamento de Investigación y Desarrollo (DID)

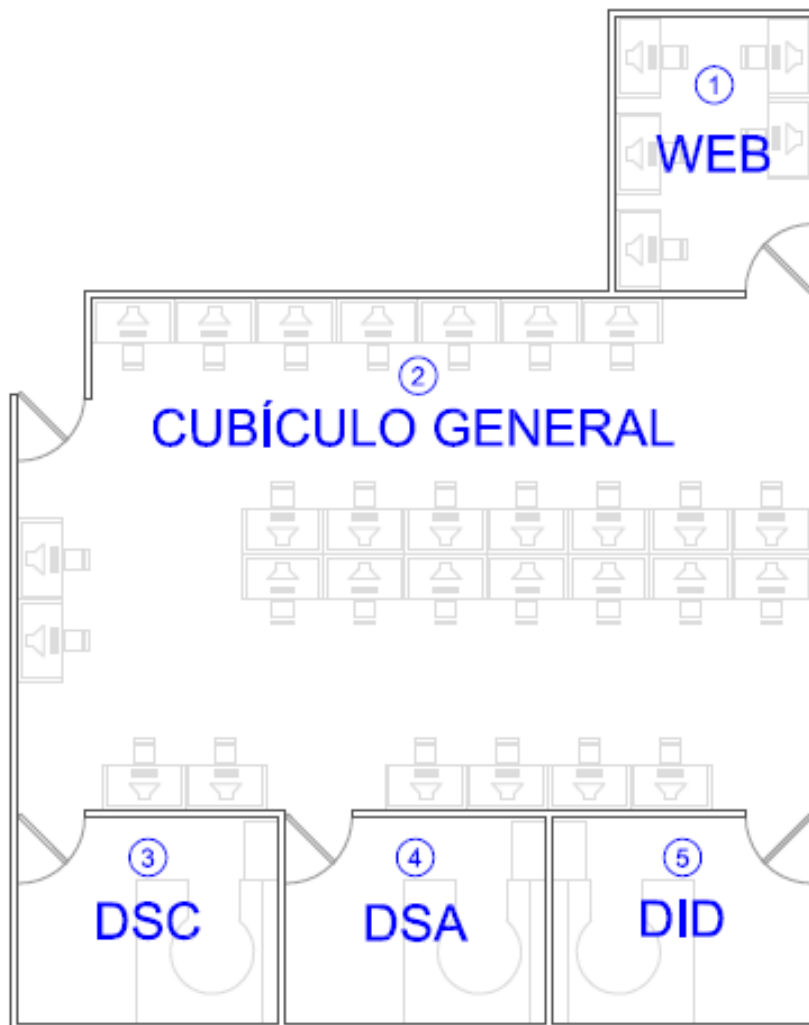


Figura 3.3 Croquis general de ubicación

3.1.1 Dimensiones

A continuación se presentan los planos que contienen las dimensiones arquitectónicas de cada uno de los cubículos de UNICA.

Plano general

Este plano (*Figura 3.4*) especifica las dimensiones generales de todos los cubículos que conforman UNICA, donde se puede apreciar que el ancho total es 10.82 [m] y el largo de 13.70 [m].

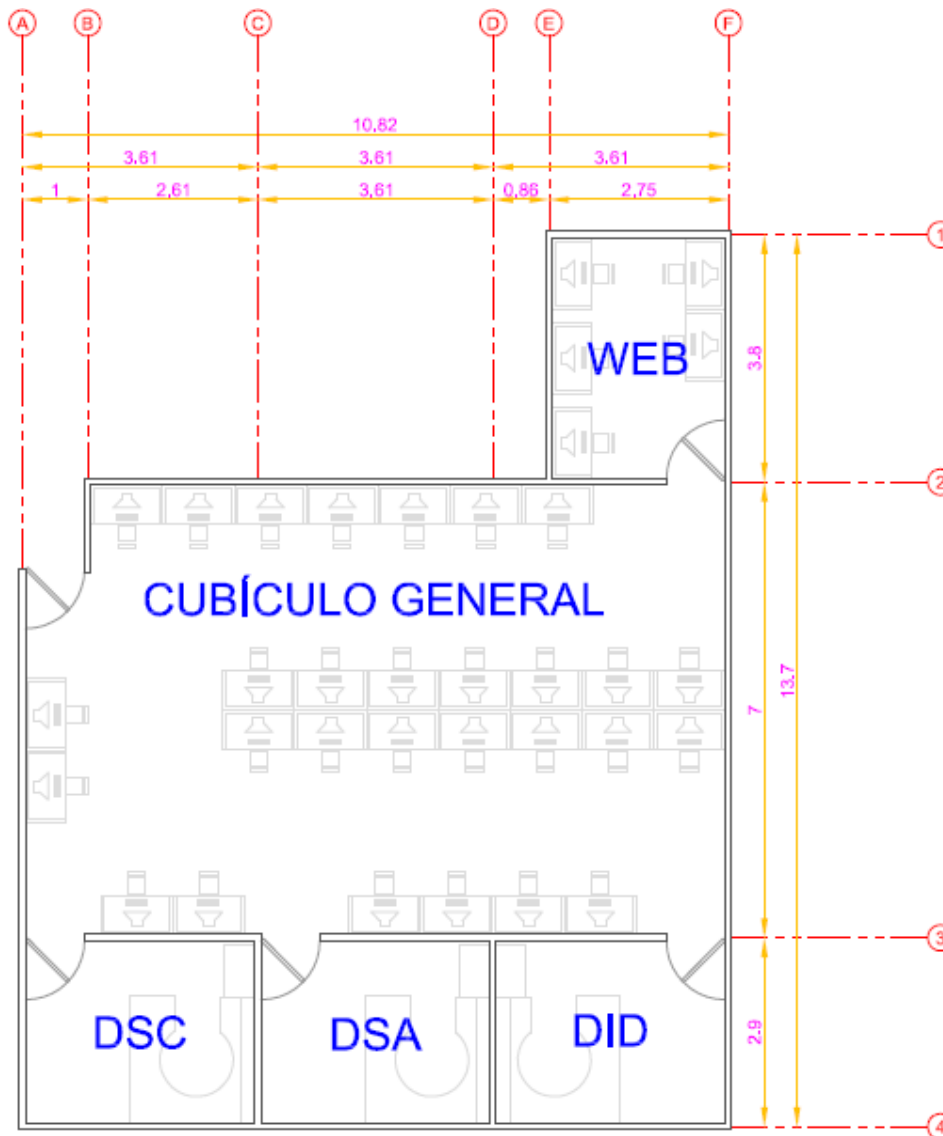
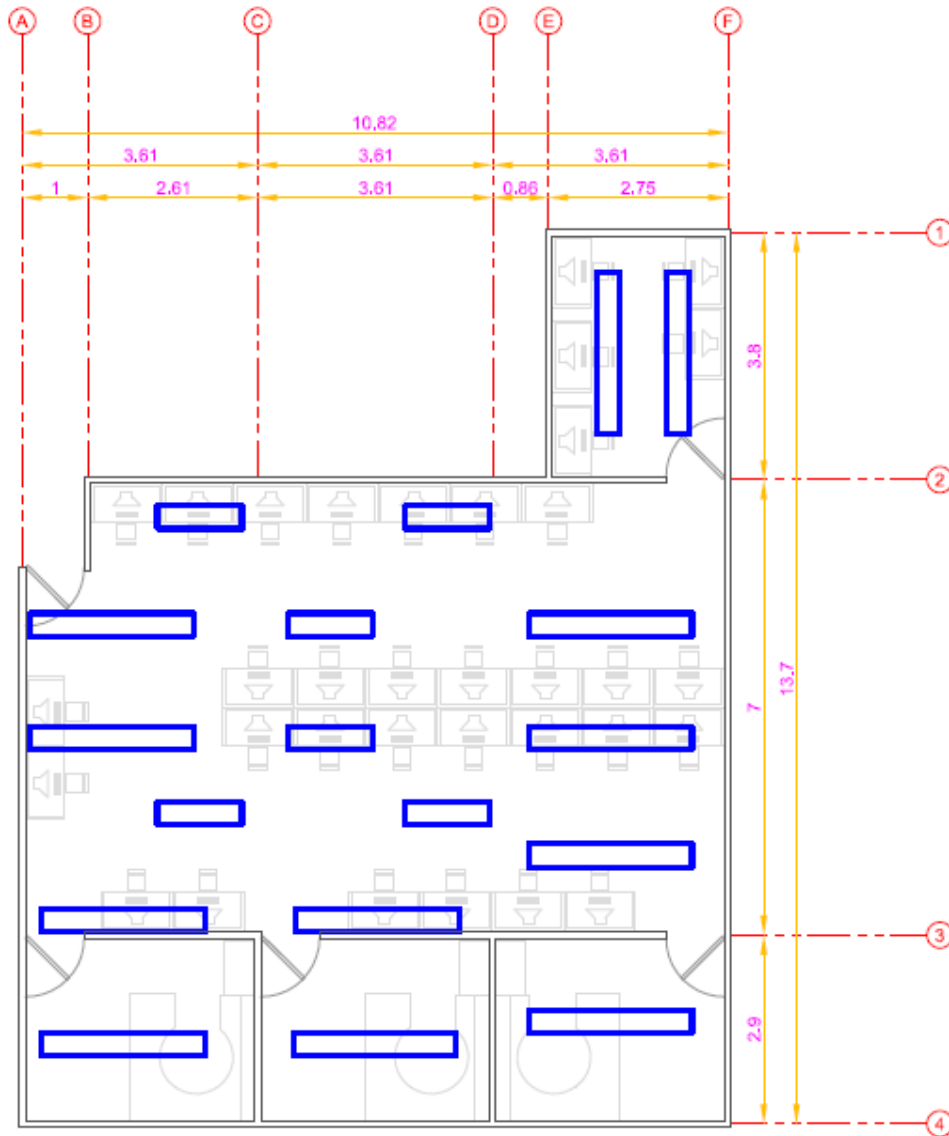


Figura 3.4 Plano general de UNICA (Dimensiones)

* Dimensiones dadas en metros, [m].

El siguiente plano ubica a cada uno de los luminarios que conforman el sistema de iluminación actual en UNICA.



**Figura 3.5 Plano general de UNICA
(Ubicación de los luminarios)**

* Dimensiones dadas en metros, [m].

Cubículo del área Web

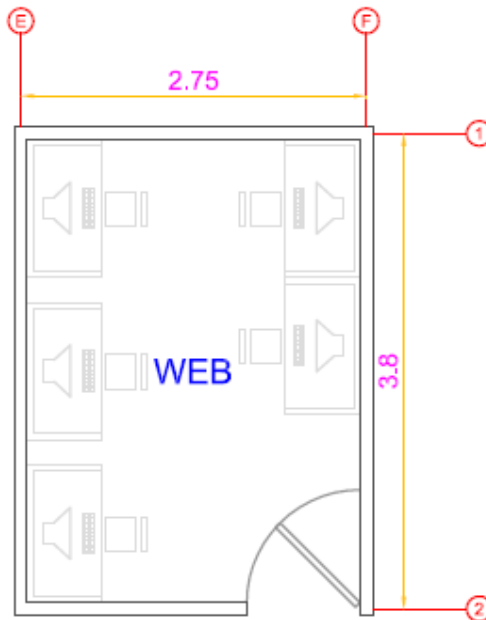


Figura 3.6 Cubículo Web (Dimensiones)

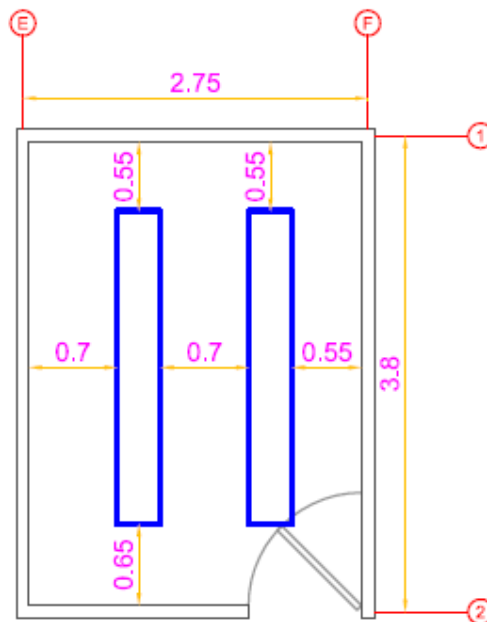


Figura 3.7 Cubículo Web (Ubicación de los luminarios)

* Dimensiones dadas en metros, [m].

Cubículo principal de becarios

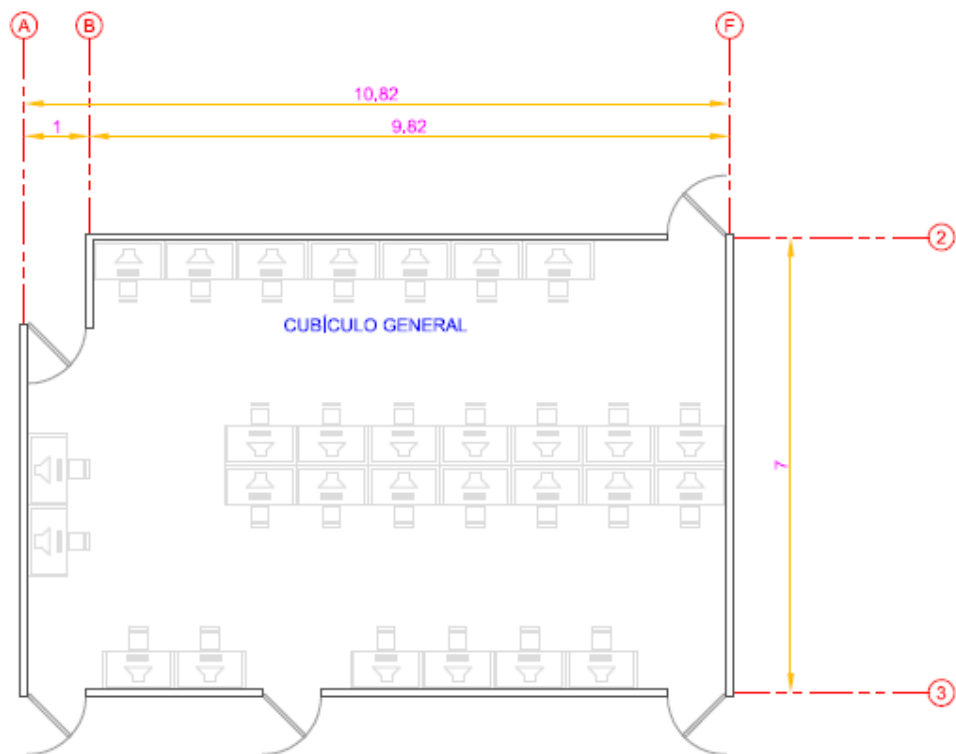


Figura 3.8 Cubículo general de becarios-Dimensiones

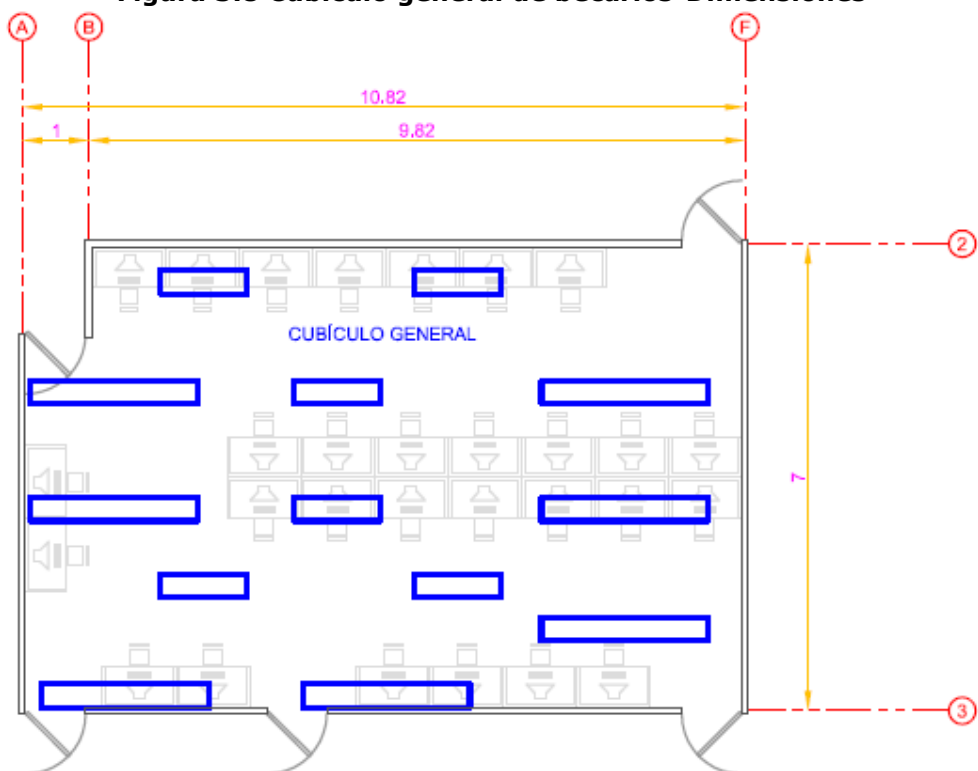


Figura 3.9 Cubículo general de becarios-Ubicación de los luminarios

* Dimensiones dadas en metros, [m].

Cubículo del jefe del Departamento de Seguridad en Cómputo (DSC)

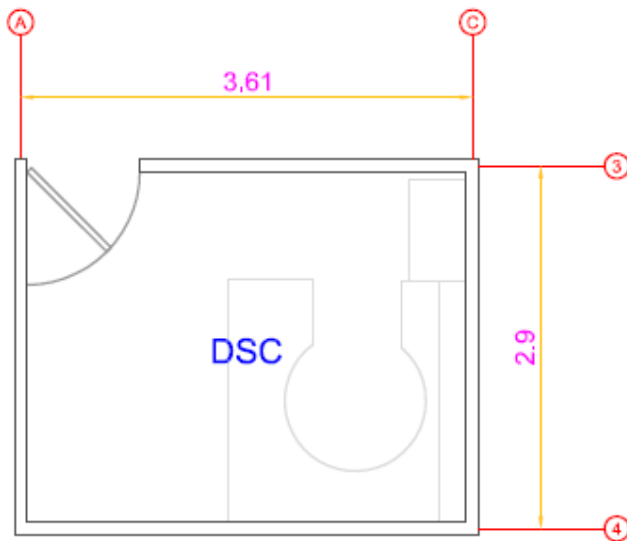


Figura 3.10 Cubículo del DSC (Dimensiones)

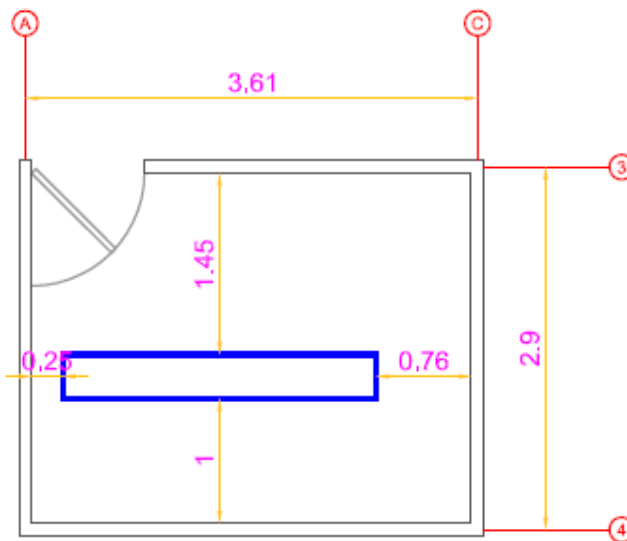


Figura 3.11 Cubículo del DSC (Ubicación de los luminarios)

* Dimensiones dadas en metros, [m].

Cubículo del jefe del Departamento de Servicios Académicos (DSA)

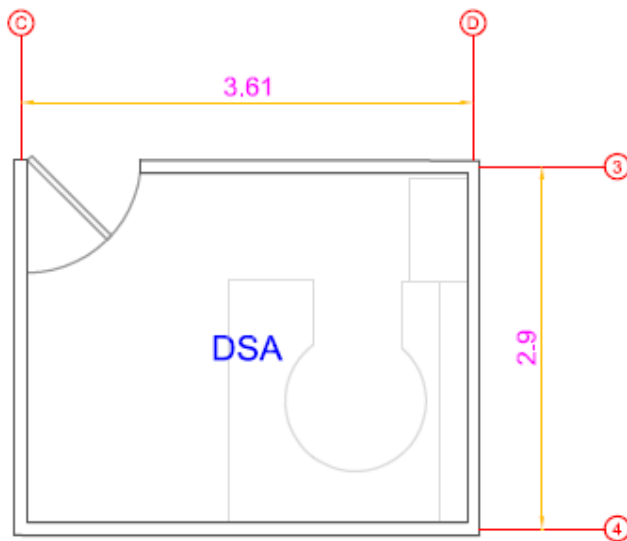


Figura 3.12 Cubículo del DSA
(Dimensiones)

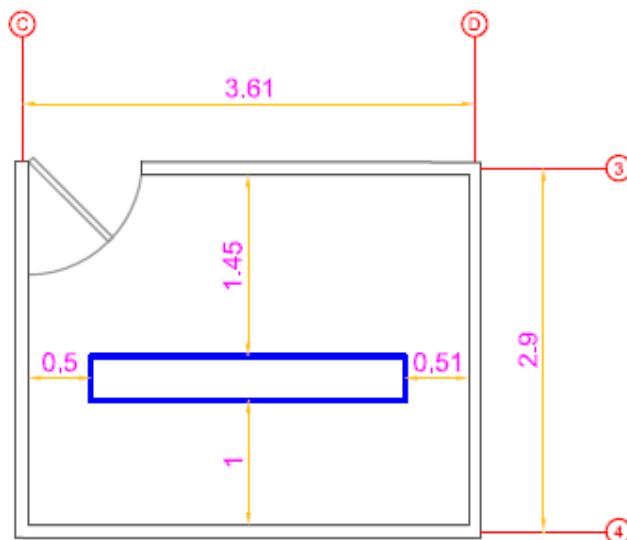


Figura 3.13 Cubículo del DSA
(Ubicación de los luminarios)

* Dimensiones dadas en metros, [m].

Cubículo del jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo (DID)

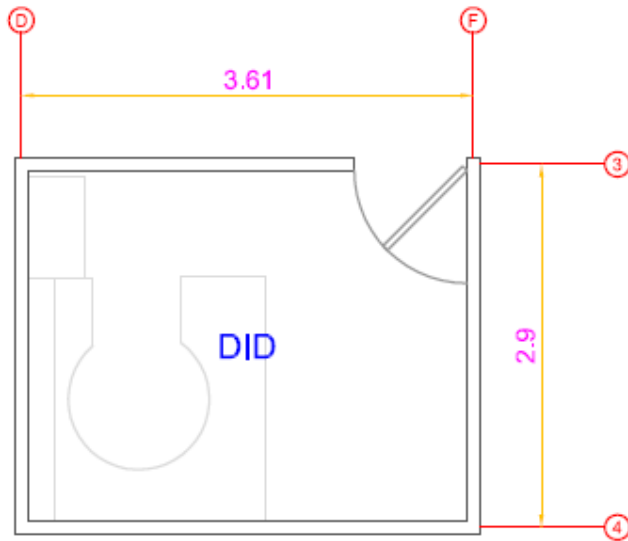


Figura 3.14 Cubículo del DID (Dimensiones)

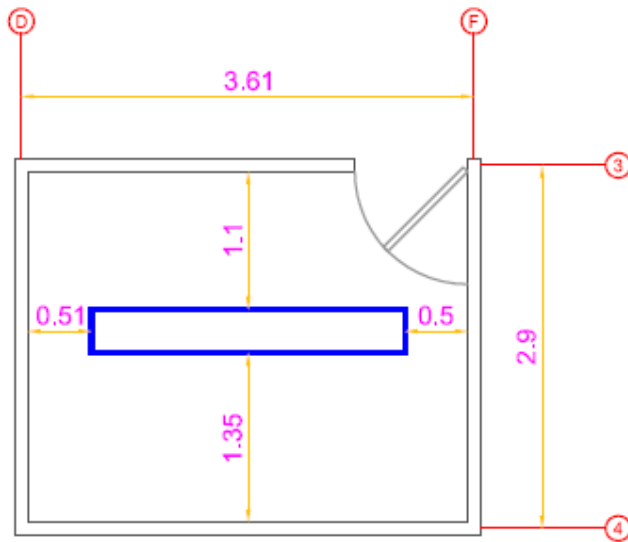


Figura 3.15 Cubículo del DID (Ubicación de los luminarios)

* Dimensiones dadas en metros, [m].

Vista lateral general

Todos los cubículos cuentan con una perspectiva lateral similar, por lo que la *figura 3.16* representa una vista lateral general (la cual aplicará para todos los cubículos).



Figura 3.16 Vista lateral general

En el plano anterior se aprecia que la altura de los cubículos es de 2.3 [m], la altura del plano de trabajo es de 0.75 [m] y la altura de montaje de los luminarios es de 2.3 [m], es decir, están empotrados en el techo.

* Dimensiones dadas en metros, [m].

Resumen de dimensiones

Se presenta las siguientes tablas con las dimensiones generales de cada uno de los cubículos.

CUBÍCULO	Ancho [m]	Largo [m]	Alto [m]	Área [m ²]
WEB	2.75	3.80	2.30	10.45
GENERAL	10.82	7.00	2.30	75.74
DSC	3.61	2.90	2.30	10.47
DSA	3.61	2.90	2.30	10.47
DID	3.61	2.90	2.30	10.47
TOTAL				117.60

Tabla 3.1 Dimensiones generales de los cubículos de UNICA

CUBÍCULO	Alto [m]	Altura de montaje [m]	Altura del plano de trabajo [m]
WEB	2.30	2.30	0.75
GENERAL	2.30	2.30	0.75
DSC	2.30	2.30	0.75
DSA	2.30	2.30	0.75
DID	2.30	2.30	0.75

Tabla 3.2 Alturas de los cubículos de UNICA

3.1.2 Reflexión en techo, paredes y piso

La parte superior de todos los cubículos es “techo falso continuo”. Este tipo de techo es una estructura situada a cierta distancia del techo de concreto. La ventaja de tener este tipo de estructura radica en que la colocación de los luminarios, así como toda la instalación eléctrica, resulta más sencilla.

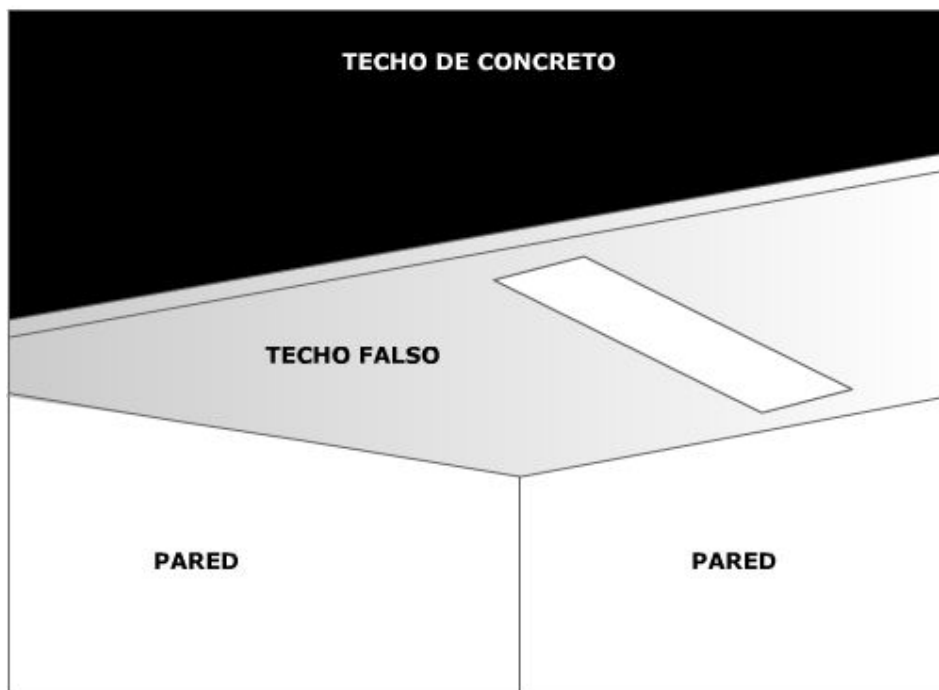


Figura 3.17 Techo falso

Tanto el techo falso, como las paredes y el piso son de color claro, por lo que tomando como base los valores propuestos por la **IESNA(Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norteamérica)**, los coeficientes de reflexión para cada uno de los elementos antes mencionados son:

Elemento	Coefficiente de reflexión
Techo	80%
Paredes	50%
Piso	20%

Tabla 3.3 Coeficientes de reflexión¹

¹ Coeficientes de reflexión obtenidos en la sección de “Recomendaciones IESNA”, la cual se encuentra en el software VISUAL 2.6.

3.2 ANÁLISIS LUMÍNICO

El propósito de este análisis es el de evaluar los componentes del sistema de iluminación (luminarios, lámparas, balastos y sistemas de control) así como el nivel y la uniformidad de la iluminación existente.

3.2.1 Equipo instalado

Todos los cubículos cuentan con un sistema de iluminación general basado en lámparas fluorescentes lineales. El sistema se compone de 3 tipos distintos de "subsistemas" (conjunto luminario, lámpara, balastro, dispositivo de control). A continuación se hace una descripción de los componentes de cada subsistema.

Subsistema tipo 1

Lámpara

Característica	Valor	Unidad
Marca	Philips	
Tipo	T12	
Potencia	75	[W]
Flujo luminoso	5,200	[lm]
Eficacia luminosa	70	[lm/W]
Eficiencia	10	[%]
Vida útil	12,000	Horas
Color	Luz de día	
Temperatura de color	5000	[K]
Índice de rendimiento de color (IRC)	79	[%]
Arranque	Instantáneo	
Forma	Tubular	
Diámetro	38	[mm]
Longitud	2.4	[m]

Tabla 3.4 Especificación de la lámpara del subsistema 1

Balastro

Característica	Valor	Unidad
Marca	Lunicom	
Tipo	Electromagnético	
Tipo de lámparas	T12	
Cantidad de lámparas	2x75 [W]	
Potencia	172	[W]
Voltaje	127	[V]
Factor de potencia	0.9	[PU]
Frecuencia	60	[Hz]
Encendido	Instantáneo	
Grado de sonido	A	
Factor de Balastro	0.85	

Tabla 3.5 Especificación del balastro del subsistema 1

Subsistema tipo 2

Lámpara

Lámpara fluorescente lineal T8 de 59 [W] de potencia.

Característica	Valor	Unidad
Marca	Osram	
Potencia	59	[W]
Flujo luminoso	5,900	[lm]
Eficacia luminosa	100	[lm/W]
Eficiencia	14.65	[%]
Vida útil	20,000	Horas
Color	Luz de día	
Temperatura de color	5000	[K]
Índice de rendimiento de color (IRC)	85	[%]
Arranque	Instantáneo	
Forma	Tubular	
Diámetro	25	[mm]
Longitud	2.4	[m]

Tabla 3.6 Especificación de la lámpara del subsistema 2

Balastro

Balastro electrónico ISB Sola Basic.

Característica	Valor	Unidad
Marca	ISB Sola Basic	
Tipo	Electrónico	
Tipo de lámparas	T8	
Cantidad de lámparas	2x59 [W]	
Potencia	123	[W]
Voltaje	127	[V]
Factor de potencia	0.9	[PU]
Frecuencia	60	[Hz]
Encendido	Instantáneo	
Factor de balastro	0.85	
Grado de sonido	A	

Tabla 3.7 Especificación del balastro del subsistema 2

Subsistema tipo 3

Lámpara

Lámpara fluorescente lineal T8 de 32 [W] de potencia.

Característica	Valor	Unidad
Marca	Osram	
Potencia	32	[W]
Flujo luminoso	2,800	[Lm]
Eficacia luminosa	87.5	[lm/W]
Eficiencia	12.81	[%]
Vida útil	20,000	Horas
Color	Luz de día	
Temperatura de color	5000	[K]
Índice de rendimiento de color (IRC)	85	[%]
Arranque	Instantáneo	
Forma	Tubular	
Diámetro	25	[mm]
Longitud	1.2	[m]

Tabla 3.8 Especificación de la lámpara del subsistema 3

Balastro

Característica	Valor	Unidad
Marca	ISB Sola Basic	
Tipo	Electrónico	
Tipo de lámparas	T8	
Cantidad de lámparas	2x32 [W]	
Potencia	67	[W]
Voltaje	127	[V]
Factor de potencia	0.9	[PU]
Frecuencia	60	[Hz]
Encendido	Instantáneo	
Grado de sonido	A	
Factor de Balastro	0.85	

Tabla 3.9 Especificación del balastro del subsistema 3

Sistema de control

Todos los subsistemas cuentan con el mismo tipo de control: apagador de pared.



Figura 3.18 Apagador de pared

Luminarios

Todos los subsistemas poseen luminarios con las mismas características:

- **Luminario para empotrar:** Estos tipos de luminarios van empotrados (incrustados) en el techo.
- **Sin reflector especular:** No tienen reflector especular, por lo que gran cantidad del flujo luminoso de las lámparas se pierde.
- **Con difusor de acrílico:** Los difusores de acrílico tienen dos funciones básicas que cumplir- proteger a las lámparas del exterior y difundir el flujo luminoso para reducir deslumbramientos-.

Las dimensiones de los luminarios se presentan en las siguientes figuras:

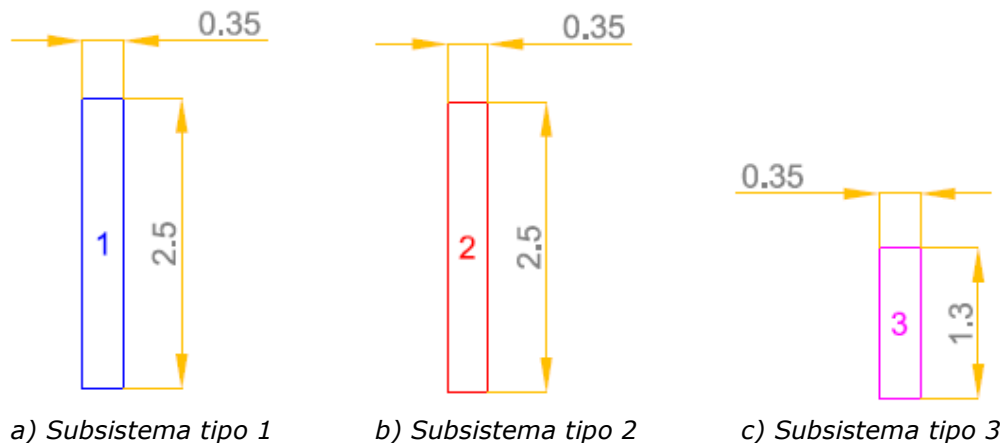


Figura 3.19 Dimensiones de los luminarios (dimensiones en metros)

Tanto el luminario para el subsistema 1 como para el subsistema 2 tienen las mismas dimensiones, no así el luminario del subsistema 3, el cual es más pequeño en comparación a los otros dos.

Resumen del equipo instalado

A continuación se presenta una tabla con un resumen de la descripción de cada uno de los subsistemas que conforman al sistema de iluminación actual:

Subsistema	Designación	Descripción	Cantidad
1	FLUOR 2x75W T-12	Luminario empotrado con 2 lámparas fluorescentes lineales de 75 [W] T-12	6
2	FLUOR 2x59W T-8	Luminario empotrado con 2 lámparas fluorescentes lineales de 59 [W] T-8	6
3	FLUOR 2x32W T-8	Luminario empotrado con 2 lámparas fluorescentes lineales de 32 [W] T-8	6

Tabla 3.10 Resumen de los subsistemas del sistema de iluminación

En la *figura 3.20* se aprecia la simbología y las dimensiones de los luminarios. Cada rectángulo representa un luminario, y el número en medio de cada uno de ellos indica el tipo de subsistema al que pertenece.

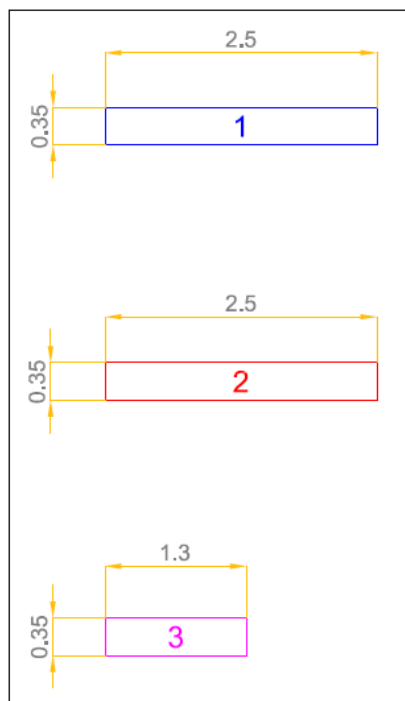


Figura 3.20 Simbología y dimensiones de los luminarios (dimensiones en metros)

Ubicación

En la *figura 3.21* se puede observar un croquis con la localización de los luminarios dentro de los cubículos. El croquis muestra el tipo de subsistema al que pertenece cada luminario (*de acuerdo a la tabla 3.10 y a la figura 3.20*). Cabe señalar que la ubicación exacta del equipo de iluminación se encuentra documentada en el punto 4.1 del presente capítulo.

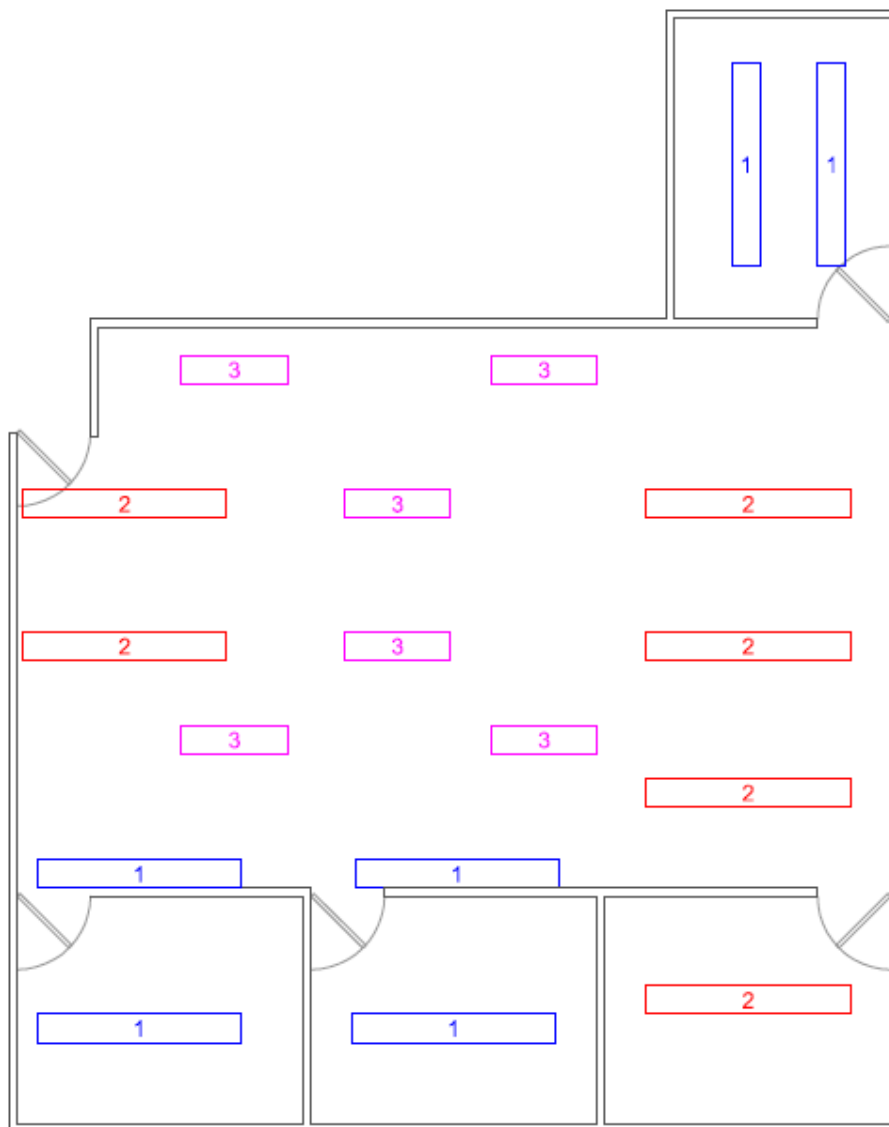


Figura 3.21 Croquis con la ubicación los luminarios

Como se puede observar, el sistema de iluminación se compone de una distribución de luminarios carente de uniformidad, además presenta una mezcla irracional de tipo de subsistemas; el ejemplo más claro se tiene en el cubículo general de becarios, en el que se encuentran luminarios tanto del tipo 1,2 y 3.

3.2.2 Cálculo del nivel de iluminación

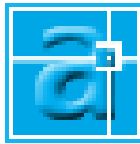
El cálculo de la iluminación se realizó con la ayuda de un programa informático denominado Visual 2.6.



A continuación se explica la metodología empleada para obtener el nivel de iluminación en cada uno de los cubículos.

a) Generación del plano arquitectónico en AutoCad

Se generó el plano arquitectónico de las oficinas de UNICA mediante el software AutoCAD 2006. Este plano se encuentra contenido en un archivo con extensión .DWG, la cual es propia de los archivos de AutoCAD.



b) Generación del plano arquitectónico con extensión DXF

Con la finalidad de poder utilizar el archivo arquitectónico de AutoCAD en el software de iluminación (Visual 2.6), a partir del archivo .DWG obtenido en el paso a), se generó un archivo con extensión .DXF el cual es un formato estándar para el intercambio de archivos entre software de CAD (Diseño Asistido por Computadora, por sus siglas en inglés).

c) Construcción de los cubículos

Ya que se obtuvo el archivo .DXF, se empezó a trabajar sobre el dentro de Visual 2.6. Tomando como vista de planta la información contenida en el archivo .DXF, se construyeron los cubículos que conforman al edificio de UNICA. Este paso es muy importante para el cálculo de la iluminación, ya que los cubículos se deben realizar con las dimensiones reales (largo, ancho y alto).

En este punto se proporcionaron como parámetros de entrada las reflectancias de las paredes, el techo y el piso de los cubículos. Los valores proporcionados al software fueron obtenidos de la *tabla 3.3: techo 80%, paredes 50% y piso 20%*.

d) Importación de los archivos fotométricos

Se importaron los archivos que contienen la información fotométrica de los luminarios que se encuentran instalados.

e) Colocación de los luminarios

Se colocaron los luminarios en la ubicación correspondiente.

f) Creación de las áreas de cálculo

Con la finalidad de obtener la iluminación existente, se crearon las áreas de cálculo dentro de cada cubículo.

g) Cálculo de la iluminación

Ya que se proporcionaron todos los datos de entrada (dimensiones arquitectónicas, nivel de reflectancia, tipo de luminario), se realizó el cálculo de la iluminación. El resultado de realizar el cálculo es un plano en el que se muestra el nivel de iluminación en cada punto del área de estudio.

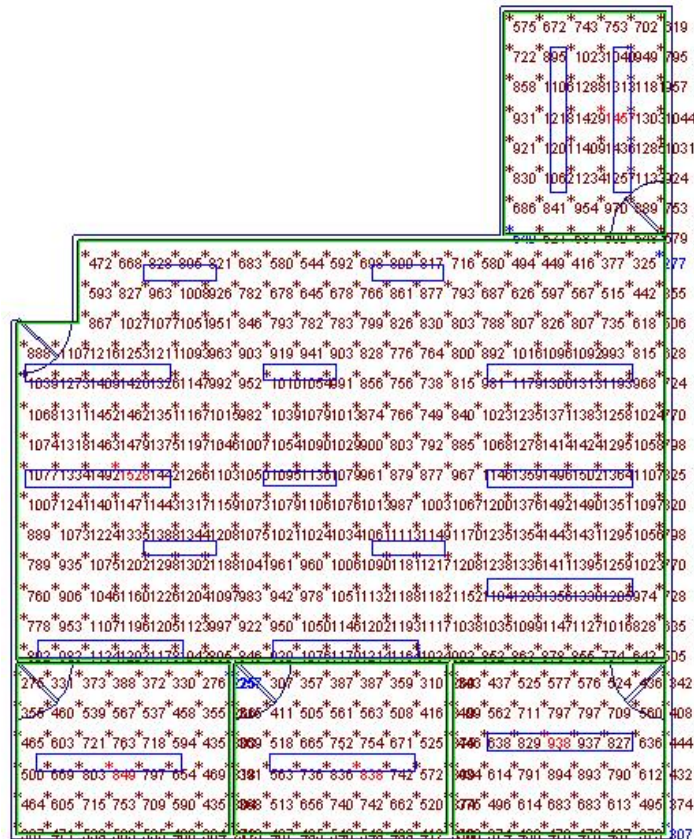


Figura 3.22 Niveles de iluminación en los cubículos de UNICA (Vista en planta)

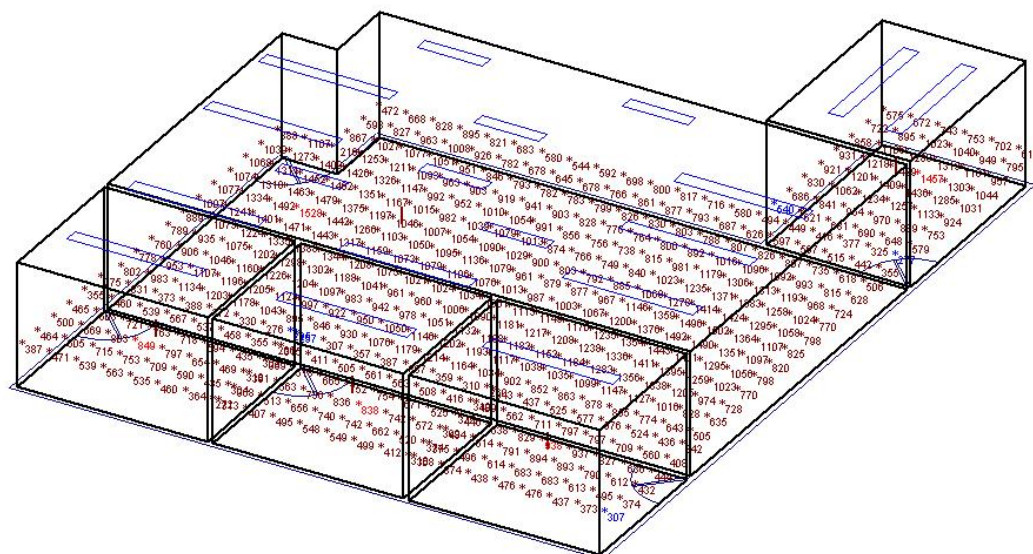


Figura 3.23 Niveles de iluminación en los cubículos de UNICA (Vista en planta)

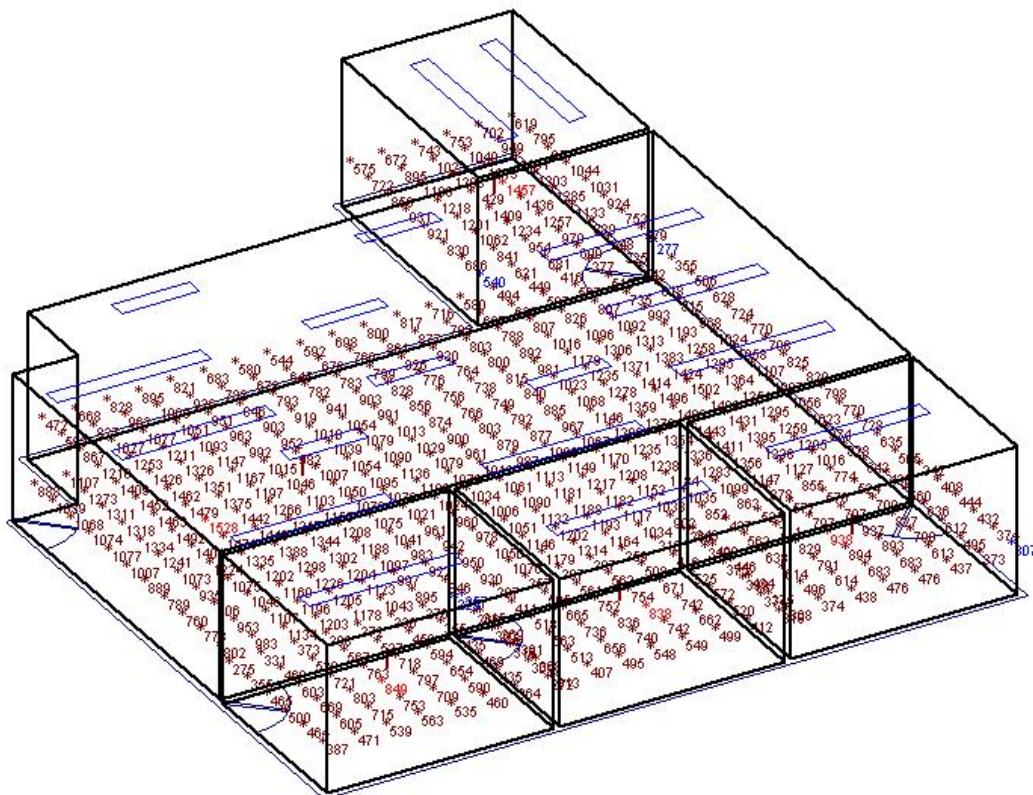


Figura 3.24 Niveles de iluminación en los cubículos de UNICA (Vista en planta)

3.2.3 Niveles de iluminación

Los resultados obtenidos del proceso de cálculo indican que en todos los cubículos es muy superior el nivel de iluminación en el plano de trabajo comparado con los valores pactados tanto por la norma oficial mexicana NOM-025-STPS-2008 (500 [lx]), como por la IESNA (500 [lx]); por lo que podemos deducir que existe un desperdicio de energía eléctrica produciendo luz innecesaria.

A continuación se muestran cada uno de los cubículos con sus niveles de iluminación.

Cubículo del área Web

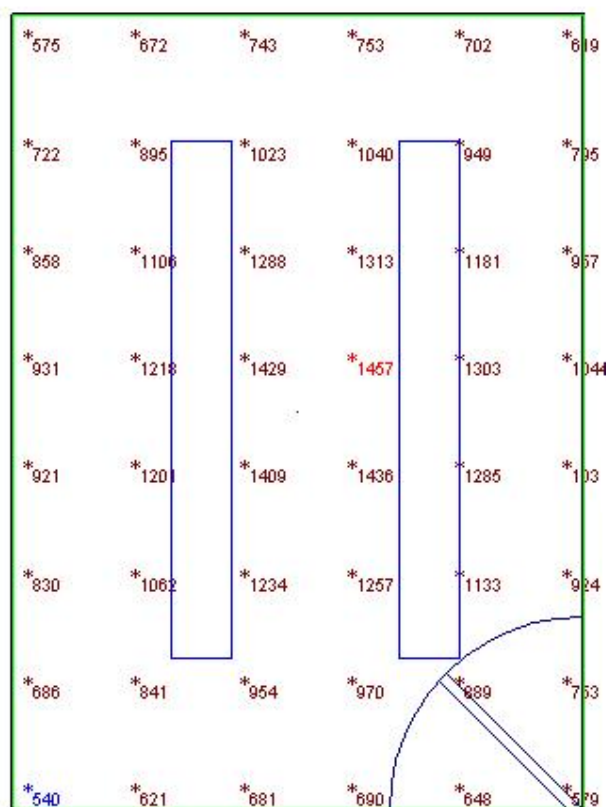


Figura 3.25 Nivel de iluminación en el área WEB (Vista en planta)

Iluminancia	Valor [lx]	Observaciones
Media	961	Por arriba de la norma oficial mexicana por 461[lx]
Máxima	1475	
Mínima	540	
Máxima/Mínima	2.7:1	
Media/Mínima	1.8:1	

Tabla 3.11 Nivel de iluminación en el área WEB

Cubículo principal de becarios

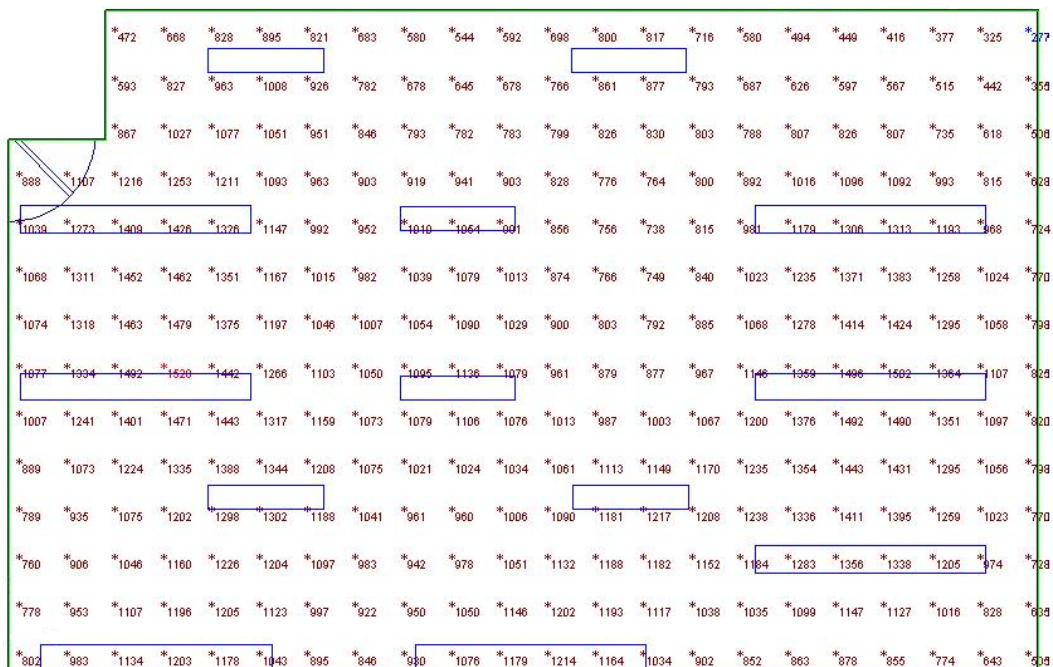


Figura 3.26 Nivel de iluminación en el cubículo principal de becarios (Vista en planta)

Iluminancia	Valor [lx]	Observaciones
Media	1017	Por arriba de la norma oficial mexicana por 517 [lx]
Máxima	1528	
Mínima	277	
Máxima/Mínima	5.5:1	
Media/Mínima	3.7:1	

Tabla 3.12 Nivel de iluminación en el cubículo principal de becarios

Cubículo del jefe del Departamento de Seguridad en Cómputo (DSC)

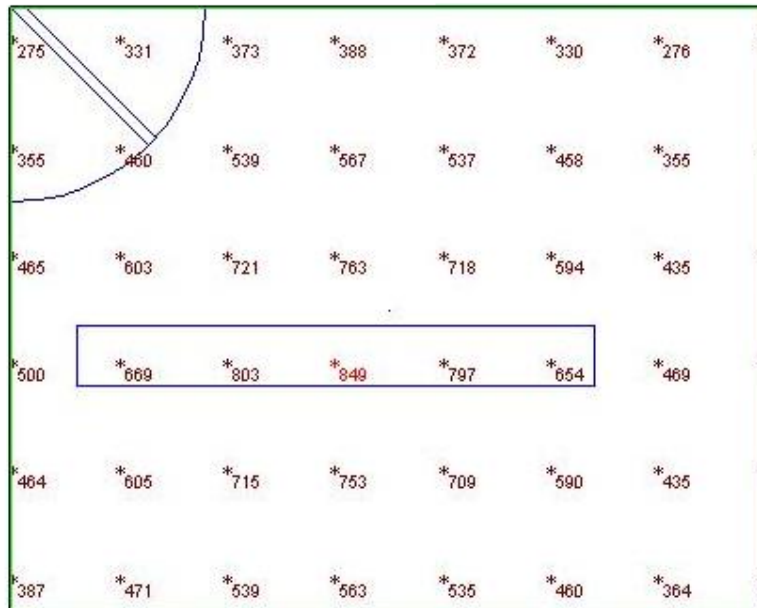


Figura 3.27 Nivel de iluminación DSC (Vista en planta)

Iluminancia	Valor [lx]	Observaciones
Media	499	Por abajo de la norma oficial mexicana por 1 [lx]
Máxima	849	
Mínima	255	
Máxima/Mínima	3.8:1	
Media/Mínima	2.2:1	

Tabla 3.13 Nivel de iluminación DSC

Cubículo del jefe del Departamento de Servicios Académicos (DSA)

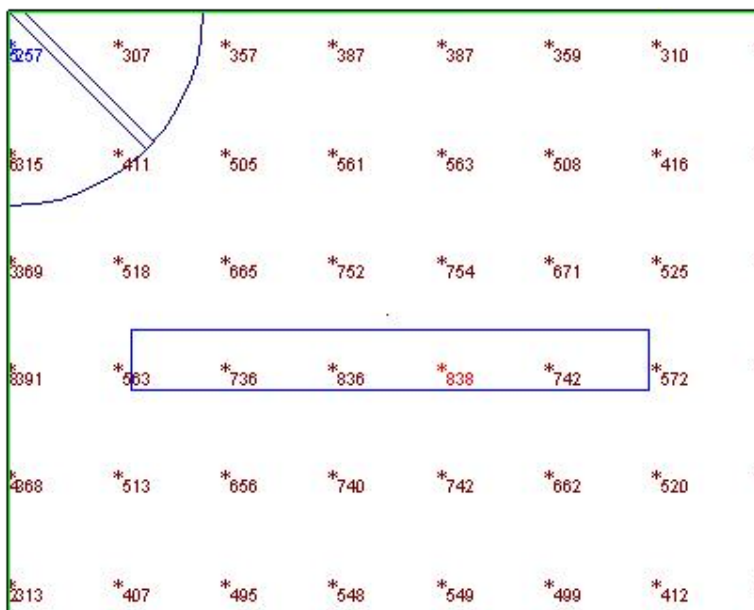


Figura 3.28 Nivel de iluminación DSA (Vista en planta)

Iluminancia	Valor [lx]	Observaciones
Media	501	Por arriba de la norma oficial mexicana por 1 [lx]
Máxima	838	
Mínima	257	
Máxima/Mínima	3.3:1	
Media/Mínima	1.9:1	

Tabla 3.14 Nivel de iluminación DSA

Cubículo del jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo (DID)

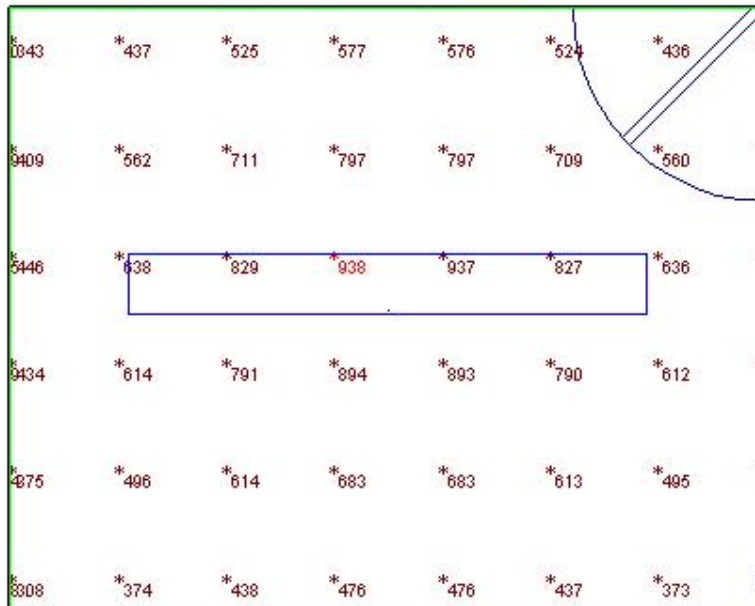


Figura 3.29 Nivel de iluminación DID (Vista en planta)

Iluminancia	Valor [lx]	Observaciones
Media	571	Por arriba de la norma oficial mexicana por 71 [lx]
Máxima	938	
Mínima	307	
Máxima/Mínima	3.1:1	
Media/Mínima	1.9:1	

Tabla 3.15 Nivel de iluminación DID

3.2.4 Uniformidad de la iluminación

La uniformidad de iluminación que proporciona un sistema de iluminación es uno de los criterios más importantes para poder evaluar la calidad de dicho sistema.

El parámetro cuantitativo que permite evaluar la uniformidad de un sistema es la denominada **uniformidad media**, que está definida por la siguiente expresión:

$$U_m = \frac{E_{mínima}}{E_{media}} \quad (3.1)$$

Donde:

U_m = Uniformidad media, sin dimensiones (adimensional).

$E_{mínima}$ = Iluminancia mínima, dada en luxes [lx].

E_{media} = Iluminancia media, dada en luxes [lx].

Los valores de la **uniformidad media** deben ser lo más altos posibles en iluminaciones generales. Para evaluar la calidad de la uniformidad de la iluminación se tiene la siguiente tabla con valores representativos de la U_m :

Calidad	Valor de U_m
Alta calidad	$U_m \geq 0.8$
Buena calidad	$0.4 < U_m < 0.8$
Baja calidad	$U_m < 0.4$

Tabla 3.16 Calidad de la uniformidad (Tomando como referencia U_m)

Empleando la *ecuación 3.1* y considerando los valores de la *tabla 3.16*, se tiene que los niveles de uniformidad en los cubículos de UNICA son:

Cubículo	E_{MEDIA} [lx]	$E_{MÁXIMA}$ [lx]	$E_{MÍNIMA}$ [lx]	U_m	Calidad
WEB	961	1457	540	0.56	Buena
GENERAL	1017	1528	277	0.27	Baja
DSC	499	849	225	0.45	Buena
DSA	501	838	257	0.51	Buena
DID	571	938	307	0.54	Buena

Tabla 3.17 Calidad de la uniformidad de las oficinas de UNICA (Tomando como referencia U_m)

En la tabla anterior se aprecia que los niveles de uniformidad de las oficinas de UNICA son relativamente buenos, sin llegar a ser altos.

3.2.5 Resumen de la iluminación actual en UNICA

En la siguiente tabla se pueden apreciar los niveles medios de iluminancia en cada una de los cubículos de UNICA.

Cubículo	Iluminancia Media (E_{MEDIA}) [lx]	Iluminancia NOM (E_{NOM}) [lx]	$E_{MEDIA}-E_{NOM}$ [lx]
WEB	961	500	461
GENERAL	1017	500	517
DSC	499	500	-1
DSA	501	500	1
DID	571	500	71

Tabla 3.18 Nivel de iluminación en UNICA

Realizando un análisis de la tabla anterior, se puede deducir que:

- Tanto en el área GENERAL (cubículo general de becarios) como en el cubículo WEB se excede de forma irracional los niveles de iluminación establecidos por la norma oficial mexicana NOM-025-STPS-2008 (500 [lx]). Este exceso en los niveles de iluminación se traduce en un desperdicio de energía eléctrica, que a su vez se transforma en una pérdida económica.
- En el área del DSC, DSA y DID los niveles de iluminación cumplen con la norma.
- La uniformidad de la iluminación es de buena calidad, de acuerdo a las *tablas 3.16 y 3.17*, en todos los cubículos excepto en el general de becarios en el que es baja.

3.3 ANÁLISIS ELÉCTRICO Y ENERGÉTICO

3.3.1 Tarifa eléctrica

La Unidad de Cómputo Académico de la Facultad de Ingeniería tiene contrato en tarifa HM (tarifa horaria para servicio general en media tensión con demanda de 100 [kW] o más) en la región centro.

CUOTAS APLICABLES MENSUALMENTE.

Se aplicarán los siguientes cargos por la demanda facturable, por la energía de punta, por la energía intermedia y por la energía de base.

Año 2008 - Región Central.

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
C x Dem Fact	139.04	139.19	140.65	142.93	145.36	147.47
C x kWh Punta	1.9054	1.9456	1.6044	1.6678	1.7117	1.7682
C x kWh Intermedio	0.9061	0.9465	0.9982	1.0649	1.1045	1.1650
C x kWh Base	0.7572	0.7910	0.8342	0.8899	0.9230	0.9736

Concepto	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
C x Dem Fact	149.67	151.38	153.70	153.90	154.42	156.14
C x kWh Punta	1.8175	1.8817	1.9357	1.9434	1.9378	1.9266
C x kWh Intermedio	1.2154	1.2923	1.3495	1.3594	1.3455	1.2903
C x kWh Base	1.0158	1.0801	1.1279	1.1361	1.1245	1.0784

PERIODO DE PUNTA, SEMIPUNTA, INTERMEDIO Y BASE.

Estos periodos se definen en cada una de las regiones tarifarias para las distintas temporadas del año, como se describe a continuación.

REGIONES.

Regiones Central, Noreste, Norte y Sur.

Del primer domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre.

Día de la Semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	00:00 - 06:00	06:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
Sábado	00:00 - 07:00	07:00 - 24:00	
Domingo y festivo	00:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

Del último domingo de octubre, al sábado anterior al primer domingo de abril.

Día de la Semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	00:00 - 06:00	06:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
Sábado	00:00 - 08:00	08:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
Domingo y festivo	00:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

DEMANDA FACTURABLE.

La Demanda Facturable se define como se establece a continuación:

$$DF = DP + FRI * \max(DI-DP,0) + FRB * \max(DB-DPI,0)$$

Donde:

- DP es la Demanda Máxima Medida en el Periodo de Punta.
- DI es la Demanda Máxima Medida en el Periodo Intermedio.
- DB es la Demanda Máxima Medida en el Periodo en el Periodo de Base.
- DI es la Demanda Máxima Medida en los Periodos de Punta e Intermedio.
- FRI y FRB son factores de reducción que tendrán los siguientes valores, dependiendo de la región tarifaria:

3.3.2 Carga eléctrica conectada

La carga eléctrica conectada por el concepto del sistema de iluminación es:

Subsistema	Descripción	Potencia /Unidad [W]	Unidades	Potencia Total [W]
1	FLUOR 2x75W T-12	172	6	1,032
2	FLUOR 2x59W T-8	123	6	738
3	FLUOR 2x32W T-8	67	6	402
Total			18	2,172

Tabla 3.19 Carga eléctrica conectada del sistema de iluminación (Potencia activa)

La potencia total que demanda el sistema de iluminación es la potencia activa del sistema; las potencias reactiva y aparente del sistema se pueden calcular mediante las siguientes expresiones:

$$FP = \cos \theta = \frac{P}{S} \quad (3.2)$$

$$S = \frac{P}{\cos \theta} \quad (3.3)$$

$$\theta = \cos^{-1}(FP) \quad (3.4)$$

$$Q = P \times \tan \theta \quad (3.5)$$

Donde:

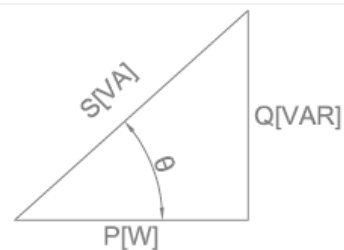
FP = Factor de potencia.

P = Potencia activa, dada en [W].

Q = Potencia reactiva, dada en [VAR].

S = Potencia aparente, dada en [VA].

θ = Ángulo de fase, dado en [°].



Después de emplear las ecuaciones 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 para obtener las potencias reactiva y aparente, se tiene que el denominado triángulo de potencias del sistema de iluminación actual queda como:

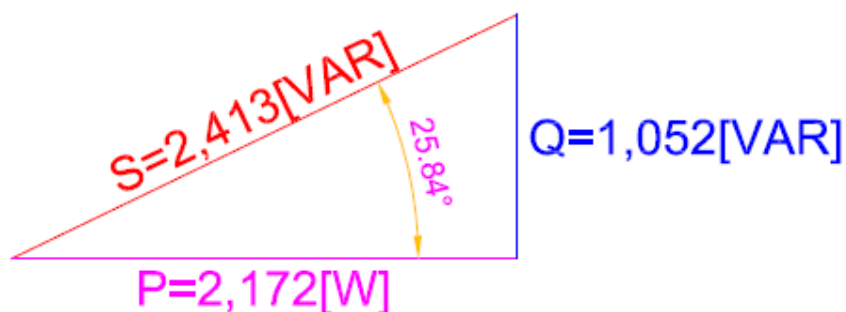


Figura 3.30 Triángulo de potencias (Sistema de iluminación actual)

Subsistema	Factor de potencia [PU]	Ángulo de fase [°]	Potencia activa [W]	Potencia reactiva [VAR]	Potencia aparente [VA]
1	0.9	25.84	1,032	500	1,147
2	0.9	25.84	738	357	820
3	0.9	25.84	402	195	447
Total	0.9	25.84	2,172	1,052	2,413

Tabla 3.20 Potencia activa, reactiva y aparente (Sistema de iluminación actual)

Lo ideal es que el Factor de Potencia de un sistema de iluminación sea unitario (FP=1), ya que esto indica que toda la energía que demanda el sistema se emplea en la producción de luz (esto teóricamente, ya que existen las pérdidas por efecto Joule).

Tomando en cuenta que el valor ideal para el Factor de Potencia es 1, se deduce que el sistema de iluminación actual de UNICA presenta un Factor de Potencia relativamente alto (FP=0.9). Este valor es sumamente aceptado ya que la componente reactiva del sistema (Q) es muy baja.

3.3.3 Eficacia del sistema

La eficacia de un sistema de iluminación es de suma importancia, ya que es un parámetro que indica cuanto flujo luminoso es emitido por el sistema en relación a la potencia que se les suministra. Obviamente, siempre se busca que un sistema de iluminación tenga la mayor eficacia posible.

Se debe hacer énfasis en que la eficacia que se quiere calcular corresponde a la de todo el sistema de iluminación, es decir, se debe considerar al conjunto lámpara-balastro-luminario; es por esto que el flujo nominal de las lámparas instaladas debe multiplicarse tanto por el **Coefficiente de Utilización (CU)** de sus luminarios así como por el **Factor de Balastro (FB)** de los balastos.

A continuación se realizará el cálculo de la eficacia del actual sistema de iluminación de UNICA.

La expresión para calcular la eficacia es:

$$E_f = \frac{\phi_T [lm]}{p_T [W]} \quad (3.6)$$

Donde:

E_f = Eficacia luminosa del sistema de iluminación, medida en lúmenes por watt [lm/W].

ϕ_T = Flujo luminoso total útil, en lúmenes [lm].

$p_T [W]$ = Potencia eléctrica suministrada al sistema de iluminación, dada en watts [W].



Figura 3.31 Eficacia de un sistema de iluminación

El flujo total se puede extraer de la *tabla 3.21*, en la que se considera tanto el **CU** (parámetro obtenido como resultado del cálculo de iluminación realizado con el software Visual 2.6) como el **FB** (parámetro obtenido de las especificaciones del balastro).

La tabla se divide por áreas, ya que el **CU** depende tanto del luminario como de las dimensiones del cubículo en el que se encuentra instalado dicho luminario.

El **FB** presenta el mismo valor para todos los balastros que se encuentran instalados, se debe recordar que este parámetro es un dato que provee el fabricante.

Área	Tipo de subsistema	Descripción	Lúmenes/Luminario [lm]	Unidades	FB	CU	Lúmenes útiles [lm]
WEB	1	FLUOR 2x75W T12	10400	2	0.85	0.54	9,547
	2	FLUOR 2x59W T8	11800	0	0.85	0.00	0
	3	FLUOR 2x32W T8	5600	0	0.85	0.00	0
CUBO GENERAL	1	FLUOR 2x75W T12	10400	2	0.85	0.79	13,967
	2	FLUOR 2x59W T8	11800	5	0.85	0.79	39,619
	3	FLUOR 2x32W T8	5600	6	0.85	0.79	22,562
DSC	1	FLUOR 2x75W T12	10400	1	0.85	0.54	4,774
	2	FLUOR 2x59W T8	11800	0	0.85	0.00	0
	3	FLUOR 2x32W T8	5600	0	0.85	0.00	0
DSA	1	FLUOR 2x75W T12	10400	1	0.85	0.54	4,774
	2	FLUOR 2x59W T8	11800	0	0.85	0.00	0
	3	FLUOR 2x32W T8	5600	0	0.85	0.00	0
DID	1	FLUOR 2x75W T12	10400	0	0.85	0.00	0
	2	FLUOR 2x59W T8	11800	1	0.85	0.54	5,416
	3	FLUOR 2x32W T8	5600	0	0.85	0.00	0
TOTAL							100,659

Tabla 3.21 Flujo luminoso del sistema de iluminación actual de UNICA

El flujo luminoso total del sistema actual de iluminación es:

$$\phi_T = 100,659[lm]$$

Flujo luminoso total del sistema de iluminación actual

La potencia eléctrica que se le suministra al sistema de iluminación se puede obtener de la siguiente tabla:

Subsistema	TIPO	Potencia/Unidad	Unidades	Potencia Total
		[W]		[W]
1	FLUOR 2x75W T-12	172	6	1,032
2	FLUOR 2x59W T-8	123	6	738
3	FLUOR 2x32W T-8	67	6	402
TOTAL			18	2,172

Tabla 3.22 Potencia del sistema de iluminación actual de UNICA

La potencia total instalada por el concepto del sistema de iluminación actual de UNICA es:

$$p_T = 2,172[W]$$

Potencia eléctrica total del sistema de iluminación actual

Sustituyendo los datos del flujo luminoso total y la potencia total del sistema de iluminación actual en la ecuación 3.6:

$$Ef = \frac{\phi_T[lm]}{p_T[W]}$$

$$Ef = \frac{100,659[lm]}{2,172[W]}$$

$$Ef = 46 \left[\frac{lm}{W} \right]$$

Eficacia del sistema de iluminación actual de UNICA

3.3.4 Eficiencia del sistema

La eficiencia de un sistema indica que tan productivo es, ya que este parámetro es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada. En el caso de un sistema de iluminación la potencia de salida es el flujo lumínico, y la potencia de entrada es la potencia eléctrica suministrada.

La expresión para calcular la eficiencia es:

$$\eta = \frac{P_{SALIDA}}{P_{ENTRADA}} \times 100\% \quad (3.7)$$

Donde:

η = Eficiencia del sistema de iluminación, dada en %.

P_{SALIDA} = Potencia de salida del sistema de iluminación, dada en Watts [W].

$P_{ENTRADA}$ = Potencia de entrada del sistema de iluminación, dada en Watts [W].

La P_{SALIDA} se trata del flujo luminoso total del sistema de iluminación que es recibido en el plano de trabajo, pero ya que dicho flujo tiene como magnitud [lm] hay que convertirlos a [W], para esto se utilizará la siguiente constante de conversión:

$$1[W] = 683[lm]$$

Entonces:

$$P_{SALIDA} = \phi_T [lm] \frac{1}{683} \left[\frac{W}{lm} \right] \quad (3.8)$$

De la tabla 3.21:

$$\phi_T = 100,659[lm]$$

Sustituyendo el valor del ϕ_T en la ecuación 3.8:

$$P_{SALIDA} = 100,659[lm] \times \frac{1}{683} \left[\frac{W}{lm} \right]$$

$$P_{SALIDA} = 147[W]$$

Potencia de salida del sistema de iluminación actual

De la tabla 3.22 se tiene que la potencia de entrada es:

$$P_{ENTRADA} = p_T = 2,172[W]$$

Potencia de entrada sistema de iluminación actual de UNICA

Ya que se conocen los valores tanto de la p_{SALIDA} y de la $p_{ENTRADA}$ se puede calcular la eficiencia del sistema sustituyendo estos valores en la ecuación 3.7:

$$\eta = \frac{P_{SALIDA}}{P_{ENTRADA}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{147}{2,172} \times 100\%$$

$$\eta = 6.8\%$$

Eficiencia del sistema de iluminación actual de UNICA

La eficiencia calculada indica que solamente el **6.8%** de la potencia que se le suministra al sistema de iluminación es aprovechada para la producción de luz, por lo que el **93.2%** de la potencia se pierde. La baja eficiencia se debe a que el sistema de iluminación se compone por una familia de lámparas que presentan una baja eficacia en relación con las nuevas tecnologías.

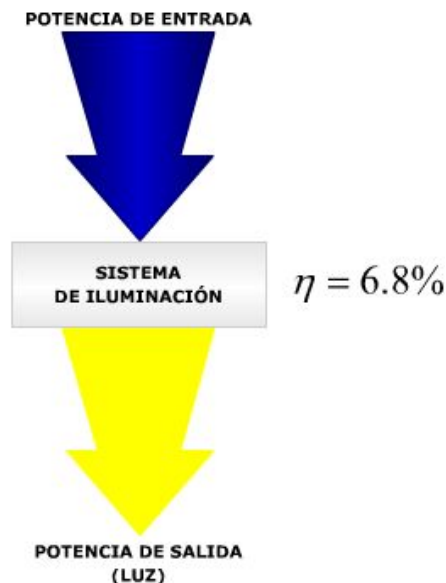


Figura 3.32 Eficiencia del sistema de iluminación actual de UNICA

3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Uno de los argumentos más fuertes que debe presentar un proyecto para poder ser realizado es su rentabilidad económica. El presente análisis tiene como objetivo evaluar que tan rentable es el actual sistema de iluminación de UNICA.

Los dos costos más significativos que se generan por el concepto de iluminación son:

- Costo eléctrico
- Costo de operación

3.4.1 Costo eléctrico

A continuación se realizará el cálculo del costo de la energía eléctrica consumida en un año por el sistema de iluminación actual. El año que se considera para dicho cálculo es el 2008.

Horario y calendario de trabajo

Para realizar el cálculo de la energía consumida se requiere saber cuánto tiempo se mantiene encendido el sistema de iluminación y en que horario, por lo que se presenta el horario de trabajo de las oficinas de UNICA, así como un resumen de los días de trabajo de un año.

El horario de trabajo que se cumple dentro de las oficinas de UNICA es de lunes a viernes de 7:00 a 22:00 Hrs.

De acuerdo a la tarifa eléctrica presentada en el punto 4.3.1 de este capítulo, el horario de consumo de energía eléctrica se clasifica en tres tipos de horas:

- Horas base
- Horas intermedias
- Horas punta

El costo del kWh depende del tipo de hora en que se consume, por lo que a continuación se presentan una serie de tablas con la distribución de las horas de funcionamiento del sistema de iluminación de las oficinas de UNICA durante el año 2008.

Día	Horario de trabajo	Horas de trabajo/Día	Horas base/Día	Horas intermedias/Día	Horas punta/Día
Lunes	7:00-22:00	15	0	11	4
Martes	7:00-22:00	15	0	11	4
Miércoles	7:00-22:00	15	0	11	4
Jueves	7:00-22:00	15	0	11	4
Viernes	7:00-22:00	15	0	11	4
Sábado	-----	-----	-----	-----	-----
Domingo	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 3.23 Horario de trabajo de UNICA

Mes	Días de trabajo	Horario de trabajo	Horas base/Mes	Horas intermedias/Mes	Horas punta/Mes
Enero	19	7:00-22:00	0	209	76
Febrero	20	7:00-22:00	0	220	80
Marzo	16	7:00-22:00	0	176	64
Abril	22	7:00-22:00	0	286	44
Mayo	20	7:00-22:00	0	260	40
Junio	21	7:00-22:00	0	273	42
Julio	8	7:00-22:00	0	104	16
Agosto	21	7:00-22:00	0	273	42
Septiembre	20	7:00-22:00	0	260	40
Octubre	23	7:00-22:00	0	299	46
Noviembre	19	7:00-22:00	0	209	76
Diciembre	9	7:00-22:00	0	99	36
Total			0	2,668	602

Tabla 3.24 Distribución de las horas de uso del sistema de iluminación de UNICA en el año 2008

Analizando la tarifa eléctrica de UNICA, se aprecia que la energía consumida en el horario de punta es la más cara, mientras que la energía que resulta más barata es la consumida en horario base. La *tabla 3.24* muestra que la mayoría de las horas de uso del sistema de iluminación son en horario intermedio, le sigue el horario en punta y en horario base no hay consumo.

Energía consumida

Para realizar el cálculo de la energía consumida por el sistema de iluminación se utilizará la siguiente expresión:

$$Energía[kWh] = Potencia[kW] \times Tiempo[h] \quad (3.9)$$

Donde:

Energía = Energía consumida por el sistema de iluminación.

Potencia = Potencia eléctrica demanda por el sistema de iluminación.

Tiempo = Tiempo durante el que se mantiene en funcionamiento el sistema de iluminación.

Mes	Carga conectada [kW]	kWh base/ Mes	kWh intermedia/ Mes	kWh punta/ Mes	kWh Total/ Mes
Enero	2.1720	0	453.95	165.07	619.02
Febrero	2.1720	0	477.84	173.76	651.60
Marzo	2.1720	0	382.27	139.01	521.28
Abril	2.1720	0	621.19	95.57	716.76
Mayo	2.1720	0	564.72	86.88	651.60
Junio	2.1720	0	592.96	91.22	684.18
Julio	2.1720	0	225.89	34.75	260.64
Agosto	2.1720	0	592.96	91.22	684.18
Septiembre	2.1720	0	564.72	86.88	651.60
Octubre	2.1720	0	649.43	99.91	749.34
Noviembre	2.1720	0	453.95	165.07	619.02
Diciembre	2.1720	0	215.03	78.19	293.22
Total			5,794.90	1,307.54	7,102.44

Tabla 3.25 Energía consumida por el sistema de iluminación de UNICA durante un año

Cálculo del costo eléctrico

Ya que se conoce la energía que consume el sistema de iluminación, el siguiente paso es calcular cuánto cuesta dicho consumo. Para esto se debe emplear la siguiente ecuación:

$$CostoEnergía[\$] = Energía[kWh] \times Cargo[\$/kWh] \quad (3.10)$$

Donde:

CostoEnergía = Costo de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación.

Energía = Energía consumida por el sistema de iluminación.

Cargo = Cargo por cada kWh que se consume una carga, este valor se encuentra en la tarifa eléctrica.

Además del costo de la energía consumida, de acuerdo a la tarifa eléctrica, se tiene el cargo por demanda facturable (véase tarifa eléctrica).

La *tabla 3.26* muestra el costo total anual por concepto de iluminación, el cual se obtuvo aplicando las ecuaciones 3.9 y 3.10.

Mes	\$ Cargo kWh base	\$ Cargo kWh intermedio	\$ Cargo kWh punta	\$ Cargo DF total	\$ Cargo total
Enero	0	411.3223	314.5282	301.9949	1027.85
Febrero	0	452.2756	338.0675	302.3207	1092.66
Marzo	0	381.5839	223.0244	305.4918	910.10
Abril	0	661.5074	159.3883	310.4440	1131.34
Mayo	0	623.7332	148.7125	315.7219	1088.17
Junio	0	690.7937	161.3023	320.3048	1172.40
Julio	0	274.5443	63.1618	325.0832	662.79
Agosto	0	766.2770	171.6562	328.7974	1266.73
Septiembre	0	762.0896	168.1736	333.8364	1264.10
Octubre	0	882.8324	194.1690	334.2708	1411.27
Noviembre	0	610.7870	319.8765	335.4002	1266.06
Diciembre	0	277.4506	150.6447	339.1361	767.23
Total	0	6,795.1971	2,412.7049	3,852.8022	13,060.70

Tabla 3.26 Costo de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación de UNICA durante un año

Como resultado de la *tabla 3.26* se tiene que el costo total de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación actual de UNICA es de:

\$13,061

Costo eléctrico anual del sistema de iluminación actual de UNICA

3.4.2 Costo de operación

El costo de operación se refiere al dinero que se gasta para que el sistema de iluminación se conserve en óptimas condiciones para operar correctamente. El gasto más fuerte por este concepto es el que se genera cuando se requiere remplazar las lámparas que sufren algún desperfecto.

A continuación se realizará el cálculo de las lámparas que se requieren comprar para que se tengan como reserva del actual sistema de iluminación.

La siguiente expresión permite calcular las lámparas que se deben remplazar anualmente:

$$N_{LR} = N_L \times \frac{H_{OA}}{H_V} \quad (3.11)$$

Donde:

N_{LR} = Número de lámparas a remplazar anualmente.

N_L = Número de lámparas instaladas.

H_{OA} = Horas de operación anual de las lámparas.

H_V = Horas de vida útil de las lámparas.

La *tabla 3.27* muestra tanto la cantidad de lámparas que conforman al sistema de iluminación actual, así como su vida útil:

Tipo de lámpara	H_V	N_L
fluorescente T-12 2x75W	12,000	12
fluorescente T-8 2x59W	20,000	12
fluorescente T-8 2x32W	20,000	12

Tabla 3.27 Lámparas del sistema de iluminación actual

Las horas de operación anual (H_{OA}) del sistema de iluminación se pueden obtener de la *tabla 3.24*:

$$H_{OA} = 3,270$$

Empleando la *ecuación 3.11*, los datos de la *tabla 3.27*, así como el valor de H_{OA} ; se tiene que el número de lámparas que se deben tener como reemplazo anual son:

Tipo de lámpara	N_L	H_{OA}	H_V	N_{LR}
Fluorescente T-12 75W	12	3270	12000	$3.27 \approx 4$
Fluorescente T-8 59W	12	3270	20000	$1.962 \approx 2$
Fluorescente T-8 32W	12	3270	20000	$1.962 \approx 2$

Tabla 3.28 Lámparas a remplazar anualmente

Considerando el número de lámparas a reemplazar anualmente, así como el valor promedio de cada una de ellas, se tiene que el costo anual por el concepto de mantenimiento es:

Tipo de lámpara	Costo/lámpara	Cantidad de lámparas	Costo total
	[\$]		[\$]
fluorescente T-12 75W	40	4	160
fluorescente T-8 59W	8	2	16
fluorescente T-8 32W	3	2	6
Total			182

Tabla 3.29 Costo anual de las lámparas a reemplazar

El costo por el concepto de operación, el cual básicamente se compone del costo de las lámparas que se reemplazan anualmente, es:

\$182

Costo de operación anual del sistema de iluminación actual de UNICIA

3.5 ANÁLISIS ECOLÓGICO

La situación actual de la ecología mundial es sumamente preocupante, por lo que el aspecto ecológico debe ser tomado en cuenta al evaluar el funcionamiento de un sistema de iluminación.

Todo sistema de iluminación representa una carga eléctrica, por lo que consume energía que es producida por una planta de generación la cual, dependiendo del tipo del que se trate, produce ciertos contaminantes.

El Dióxido de Carbono es el principal contaminante producido por las plantas de termoeléctricas, por lo que se tiene un coeficiente que evalúa cuantas toneladas de este gas son producidas en relación a la energía consumida.

3.5.1 CEE: Coeficiente Eléctrico de Emisión de GEI

El **C**oeficiente **E**léctrico de Emisión de **G**ases de **E**fecto **I**ntermediero es un factor que indica cuantas toneladas de Dióxido de Carbono son emitidas por cada MWh de energía consumida.

$$CEE = 0.5368 \left[\frac{tCO_2}{MWh} \right] \quad (3.12)^1$$

3.5.2 Dióxido de Carbono emitido

Utilizando el CEE se puede calcular cuantas toneladas de Dióxido de Carbono son emitidas anualmente por el funcionamiento del sistema actual de iluminación:

La energía consumida anualmente se puede obtener de la *tabla 3.25*:

$$Energía = 7,102.44[kWh] = 7.102[MWh]$$

Por lo que:

$$tCO_2 = CEE \left[\frac{tCO_2}{MWh} \right] \times Energía[MWh]$$

$$tCO_2 = 0.5368 \left[\frac{tCO_2}{MWh} \right] \times 7.102[MWh]$$

$tCO_2 = 3.81$

Toneladas de CO₂ emitidas anualmente

¹ Dato emitido por la Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética (ATPAE) para el año 2008.

CAPÍTULO 4 SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO PARA UNICA

El presente capítulo tiene como objetivo generar la propuesta de un sistema de iluminación óptimo y eficiente para las oficinas de la Unidad de Cómputo Académico de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

La premisa fundamental que será la base para realizar la propuesta es que:

El sistema propuesto brinde iluminación de alta calidad

Ya que se ha cumplido con la premisa anterior, se procurará que el sistema de iluminación impacte de la mejor manera el aspecto eléctrico, energético, económico y ecológico.

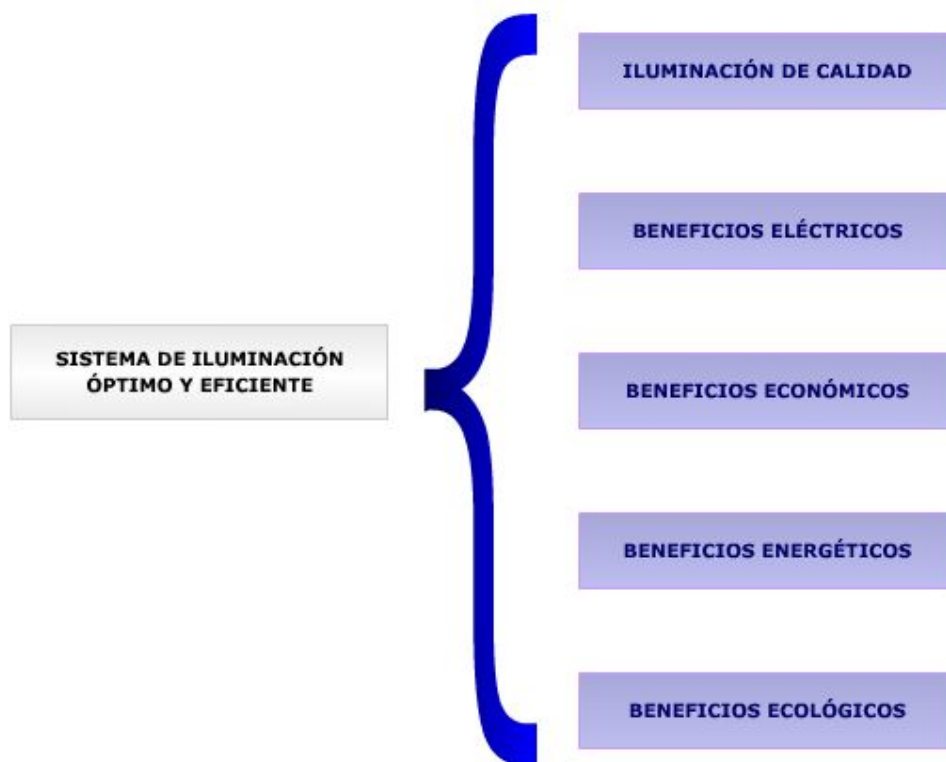


Figura 4.1 Características que debe cumplir un sistema de iluminación óptimo y eficiente

4.1 ACTIVIDADES EN LAS OFICINAS DE UNICA

El primer paso para realizar la propuesta del sistema de iluminación es conocer las actividades que se realizan en UNICA, ya que a partir de este análisis se puede conocer tanto el nivel como el tipo de iluminación que se requieren en esta área de estudio.

La **Unidad de Cómputo Académico de la Facultad de Ingeniería** tiene la misión de proporcionar eficaz y eficientemente en el ámbito institucional, los servicios de cómputo y el apoyo en actividades relacionadas que coadyuven al proceso integral de formación académica en la Facultad de Ingeniería.

Para cumplir con su misión, los integrantes de UNICA cumplen con diversas tareas entre las que se encuentran:

- Desarrollo de sistemas informáticos.
- Participación como instructor de cursos de cómputo.
- Impartición de asesorías sobre lenguajes de programación y paquetes de cómputo.
- Participación en proyectos de redes, seguridad en cómputo, bases de datos, diseño asistido por computadora, aplicaciones multimedia, web e internet.

Las actividades desarrolladas dentro de las oficinas de UNICA se pueden resumir como **captura y procesamiento de información por medio de equipo de cómputo**.

Tipo de área de trabajo

De acuerdo a las actividades que realizan los usuarios de las oficinas de UNICA así como a la norma NOM-025-STPS-2008, el tipo de área de trabajo que se está estudiando se puede catalogar como:

Sala de cómputo

El nivel de iluminación requerido por NOM-025-STPS-2008 para este tipo de área es de:

500 [lx]

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO

Tomando como base las actividades que se realizan en las oficinas en UNICA, se propone un sistema de iluminación que cumpla con las siguientes características:

- **Sistema de iluminación general:** otorga una iluminación uniforme sobre toda la superficie a iluminar. Este tipo de sistema presenta la ventaja de ser independiente a la posición de los equipos de cómputo que se encuentran instalados.
- **Nivel de iluminación 500[lx]:** considerando la norma NOM-025-STPS-2008, se requiere de este nivel para iluminar oficinas que tienen equipos de cómputo instalados.
- **Alta eficacia y eficiencia:** para tener un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica que se suministra al sistema de iluminación, se realizará una propuesta que presente una alta eficacia y eficiencia.
- **Lámpara fluorescente lineal T5:** dentro de las fuentes de luz artificiales recomendadas para la iluminación de interiores, las lámparas fluorescentes lineales T5 son las que presentan una mayor eficacia, es por esta razón que la propuesta del sistema de iluminación se basa en este tipo de lámparas.

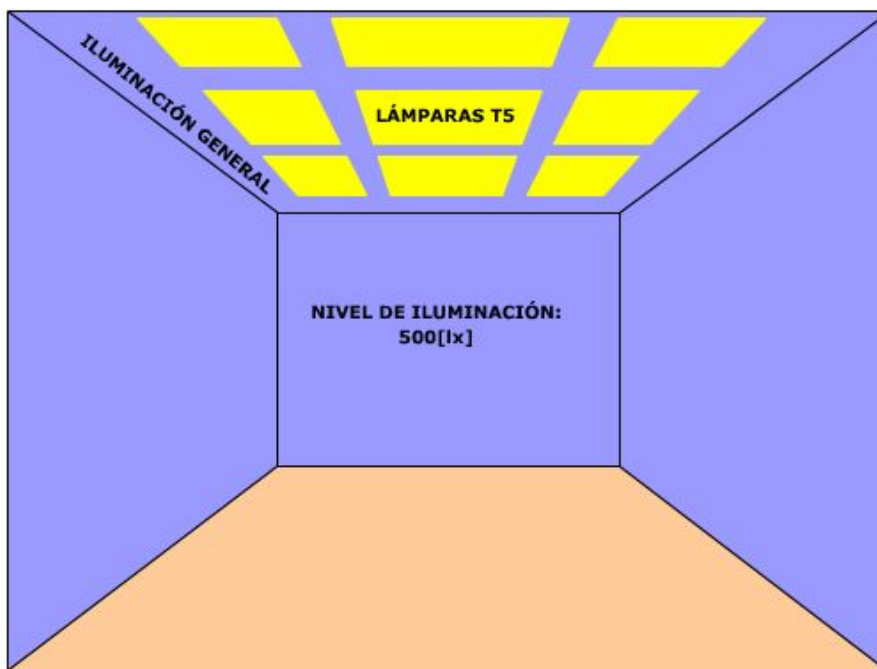


Figura 4.2 Características del sistema de iluminación propuesto para UNICA

4.3 PROPUESTA ARQUITECTÓNICA

La única modificación arquitectónica que se propone es la colocación de plafón en el techo de los cubículos. El plafón se puede definir como un "techo falso" compuesto por varios módulos rectangulares que son colocados a una cierta distancia de la losa. Las principales ventajas de la colocación del plafón son:

- Se pueden realizar modificaciones en el sistema de iluminación con una mayor facilidad ya que si en determinado momento se requiere cambiar de lugar a un luminario basta con cambiar el módulo que contienen dicho luminario.
- El cableado de la instalación eléctrica se encuentra instalado en el espacio existente entre la losa y el plafón, por lo que no es necesario realizar perforaciones en la losa de concreto.

4.3.1 Plafón propuesto

El plafón propuesto está compuesto por módulos cuadrangulares de las siguientes características:

Característica	Valor
Dimensiones	0.61[m]×0.61[m]
Color	Blanco

Tabla 4.1 Características del plafón propuesto

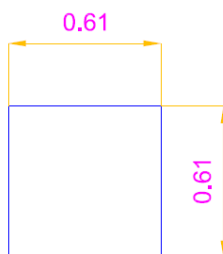


Figura 4.3 Dimensiones de los módulos del plafón propuesto (Dimensiones dadas en metros, [m])

A continuación se presentan algunas imágenes que muestran plafón instalado (esto con la finalidad de que se tenga una mejor idea de lo que es el plafón).



Figura 4.4 Ejemplos de plafón instalado

4.3.2 Vista lateral general

La vista lateral de los cubículos sigue conservando las mismas dimensiones, ya que la colocación del plafón se está proponiendo a la misma altura en donde se encuentra el techo actual.



**Figura 4.5 Vista lateral general
(Dimensiones dadas en metros, [m])**

4.3.3 Resumen arquitectónico

Aunque las dimensiones de los cubículos no se modificaron, es de suma importancia tener presente dichas medidas, por lo que a continuación se muestran las siguientes tablas que contienen la información relacionada con la altura, el largo, el ancho y el área de cada uno de los cubículos, así como sus coeficientes de reflexión.

Cubículo	Ancho [m]	Largo [m]	Alto [m]	Área [m ²]
WEB	2.75	3.80	2.30	10.45
GENERAL	10.82	7.00	2.30	75.74
DSC	3.61	2.90	2.30	10.47
DSA	3.61	2.90	2.30	10.47
DID	3.61	2.90	2.30	10.47
Total				117.60

Tabla 4.2 Dimensiones generales de los cubículos de UNICA

Cubículo	Alto [m]	Altura de montaje [m]	Altura del plano de trabajo [m]
WEB	2.30	2.30	0.75
GENERAL	2.30	2.30	0.75
DSC	2.30	2.30	0.75
DSA	2.30	2.30	0.75
DID	2.30	2.30	0.75

Tabla 4.3 Alturas de los cubículos de UNICA

Al igual que en el análisis del *capítulo 4*, se considerarán los coeficientes de reflexión en techo, paredes y piso propuestos por la **IESNA** para superficies de color claro como los que se encuentran en UNICA.

Elemento	Coefficiente de reflexión
Techo	80%
Paredes	50%
Piso	20%

Tabla 4.4 Coeficientes de reflexión¹

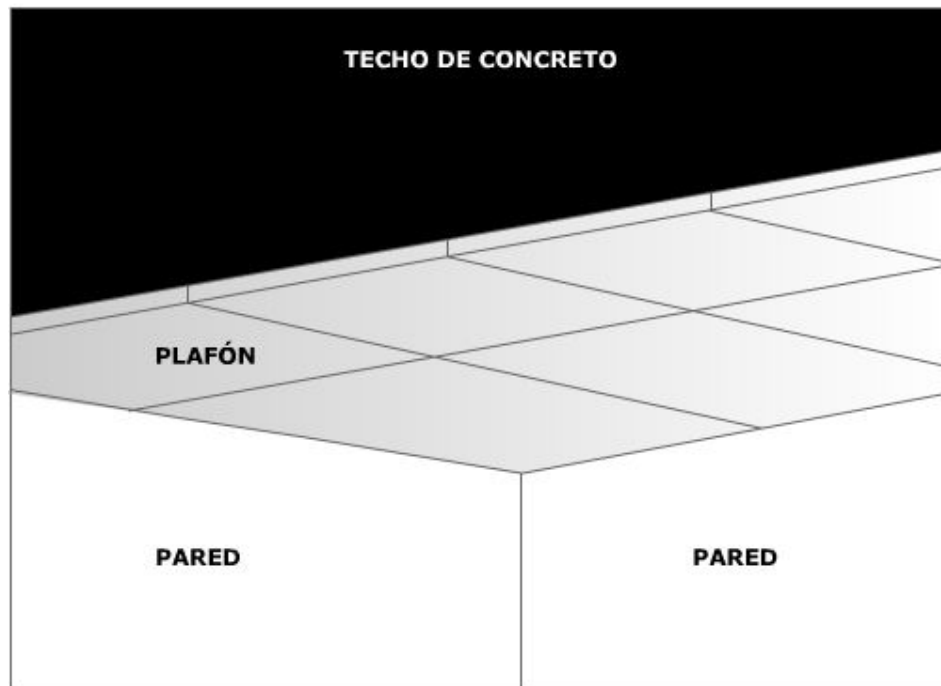


Figura 4.6 Croquis de ubicación del plafón

¹ Coeficientes de reflexión obtenidos en la sección de “Recomendaciones IESNA”, la cual se encuentra en el software VISUAL 2.6.

4.4 EQUIPO PROPUESTO

Se propone un sistema de iluminación general basado en lámparas fluorescentes lineales T5 de 28 [W] colocadas en luminarios empotrados en plafón.

El sistema de iluminación propuesto es homogéneo, se compone de un mismo tipo de lámparas, balastos, luminarios y dispositivos de control.

4.4.1 Lámpara

Se propone una lámpara fluorescente lineal T5HE (tubular de 5/8 de pulgada de diámetro, alta eficacia) con una potencia de 28[W].



Característica	Valor	Unidad
Familia	Fluorescente lineal	
Tipo	T5HE	
Potencia	28	[W]
Flujo luminoso	2,900	[lm]
Eficacia luminosa	104	[lm/W]
Eficiencia	15	[%]
Vida útil	20,000	Horas
Color	Luz de día	
Temperatura de color	6000	[K]
Índice de rendimiento de color (IRC)	85	[%]
Arranque	Rápido	
Forma	Tubular	
Diámetro	16	[mm]
Longitud	1.2	[m]

Tabla 4.5 Especificaciones de la lámpara propuesta

Las principales ventajas que presenta esta lámpara son:

- Alta eficacia.
- Larga vida útil.
- Alto índice de rendimiento de color.

4.4.2 Balastro

Se trata de un balastro electrónico de alta frecuencia para 2 lámparas fluorescentes lineales T5HE.

Característica	Valor	Unidad
Tipo	Electrónico	
Tipo de lámparas	T5	
Cantidad de lámparas	2x28 [W]	
Potencia	60	[W]
Voltaje	127	[V]
Corriente	0.4724	[A]
Factor de potencia	1	[PU]
Frecuencia entrada	60	[Hz]
Frecuencia salida	40	[kHz]
Encendido	Rápido	
Grado de sonido	A	
Factor de Balastro	1	

Tabla 4.6 Especificaciones del balastro propuesto

Las principales ventajas que presenta este tipo de balastro son:

- Alto factor de potencia.
- Alta frecuencia de salida.
- Eliminación del parpadeo de la lámpara en el encendido.
- Eliminación de ruido audible.

4.4.3 Sistema de control

El control del sistema de iluminación se realizará con apagadores de pared colocados de forma estratégica, que cumplan la finalidad de encender y apagar únicamente las lámparas de las áreas que se encuentran en uso.



Figura 4.7 Apagador

El plano de la figura 4.8 muestra a cada uno de los luminarios del sistema de iluminación propuesto con el número de apagador que lo controla.

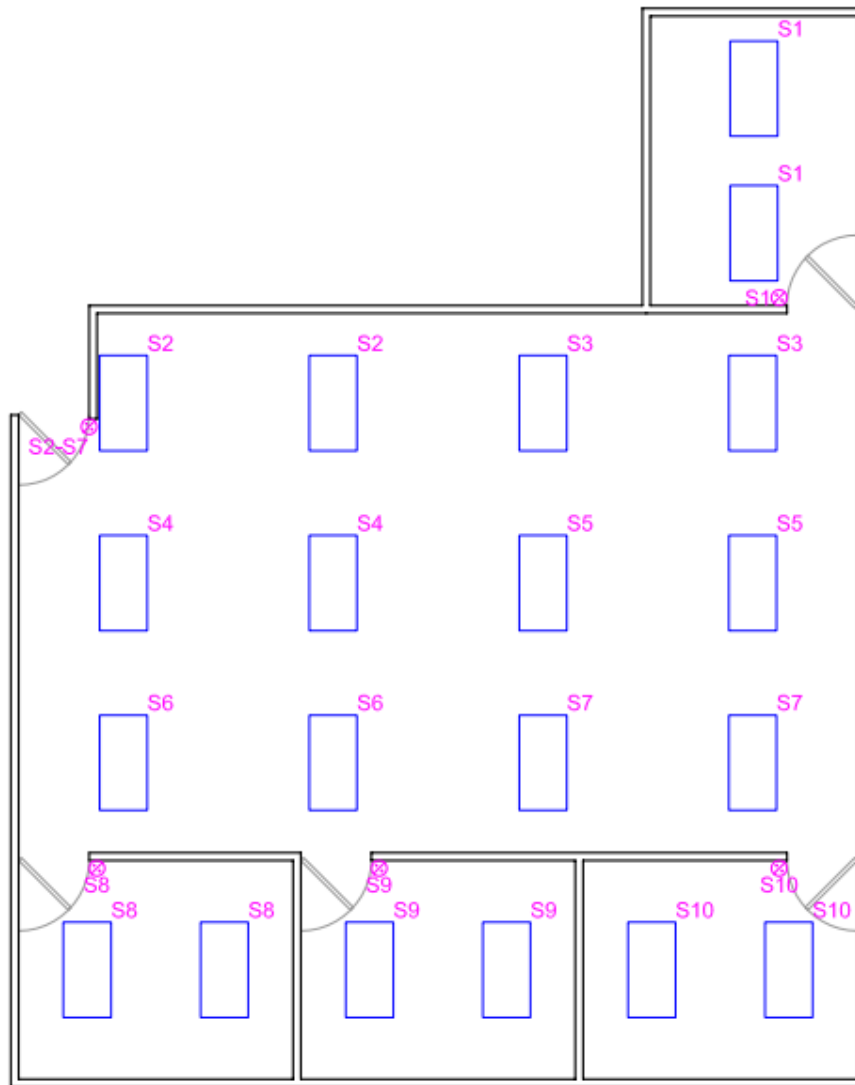


Figura 4.8 Plano de apagadores del sistema de iluminación propuesto

4.4.4 Luminario

Las principales características que debe cumplir el luminario propuesto son:

- Empotrado en plafón: Este tipo de luminarios van incrustados en el plafón.
- Con reflector parabólico especular, 98% de reflectancia.
- Con rejilla especular de 18 celdas, baja iridiscencia.
- Espacio y casquillos necesarios para alojar dos lámparas fluorescentes lineales T5HE

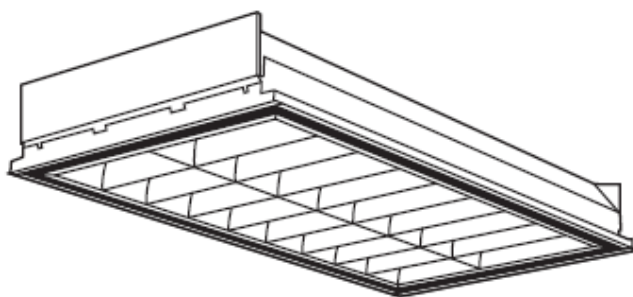


Figura 4.9 Luminario propuesto

Las dimensiones del luminario y otras de sus características se resumen en la *tabla 4.7*:

Ancho [m]	Largo [m]	Cantidad de lámparas	Tipo de lámparas	Cantidad de celdas de la rejilla
0.61	1.22	2	T5HE 28[W]	18

Tabla 4.7 Especificaciones del luminario propuesto

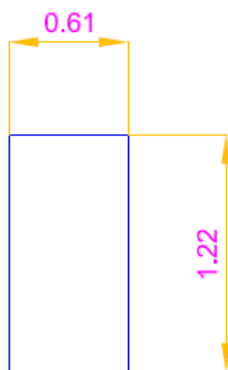


Figura 4.10 Dimensiones del luminario propuesto (dimensiones dadas en metros, [m])

4.5 DISTRIBUCIÓN PROPUESTA DE LOS LUMINARIOS

En la *figura 4.11* se presenta el croquis con la ubicación de los luminarios del sistema de iluminación propuesto para las oficinas de UNICA.

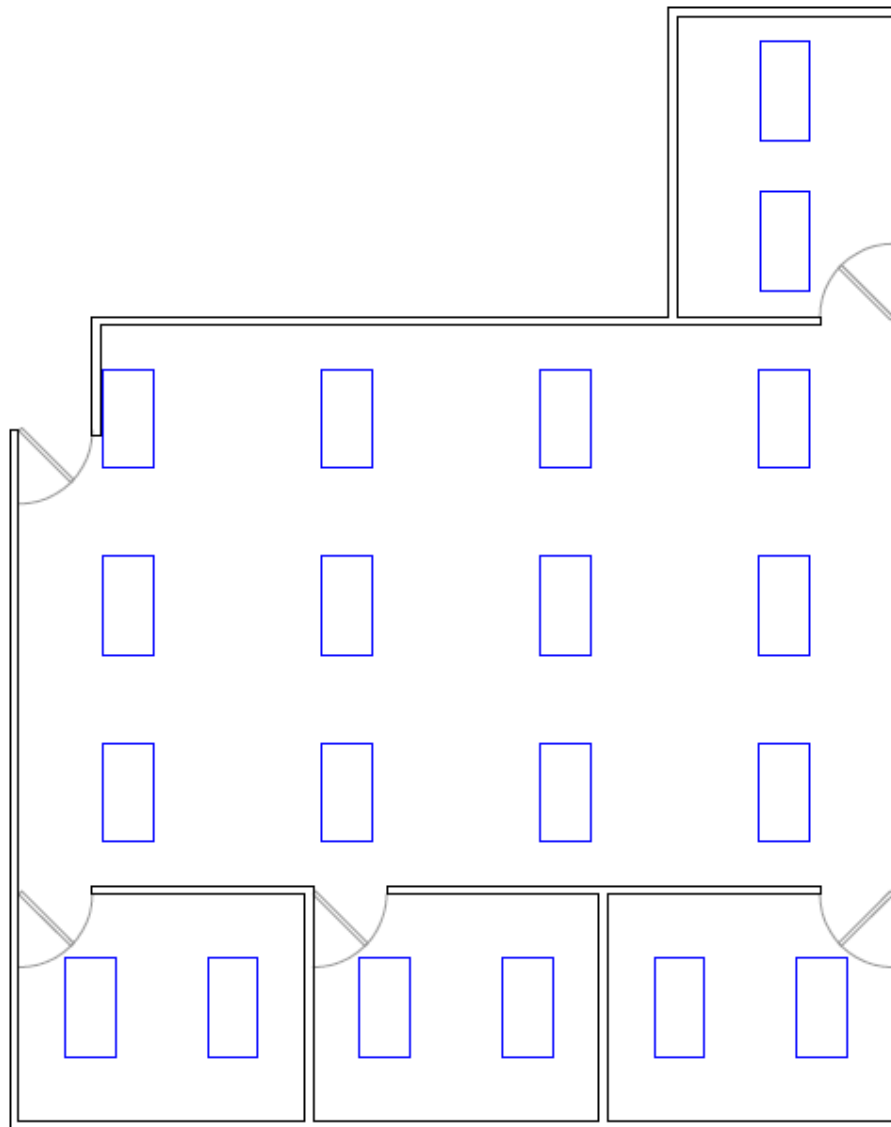


Figura 4.11 Croquis con la ubicación propuesta de los luminarios

La distribución de los luminarios es uniforme, esto con la finalidad de que los niveles de iluminación sean homogéneos.

La ubicación exacta de cada uno de los luminarios se presenta en las siguientes imágenes:

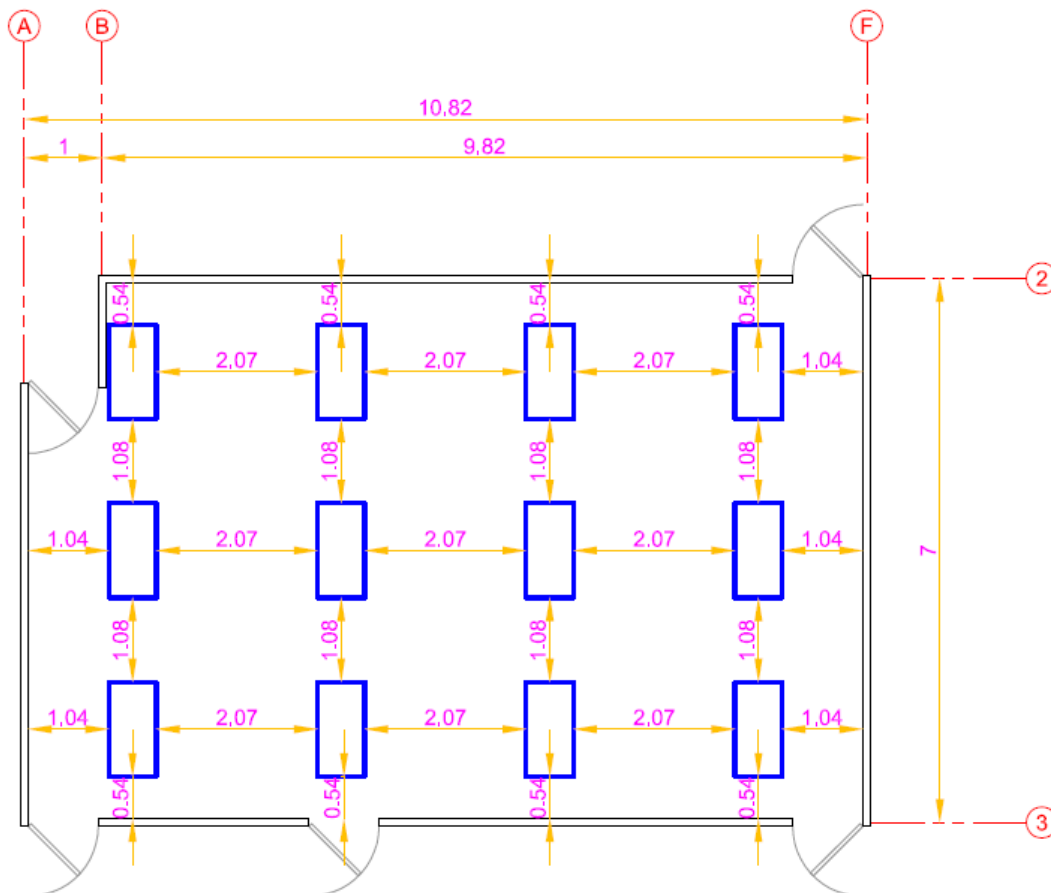


Figura 4.12 CUBO GENERAL
Plano de localización de luminarios

* Dimensiones dadas en metros, [m].

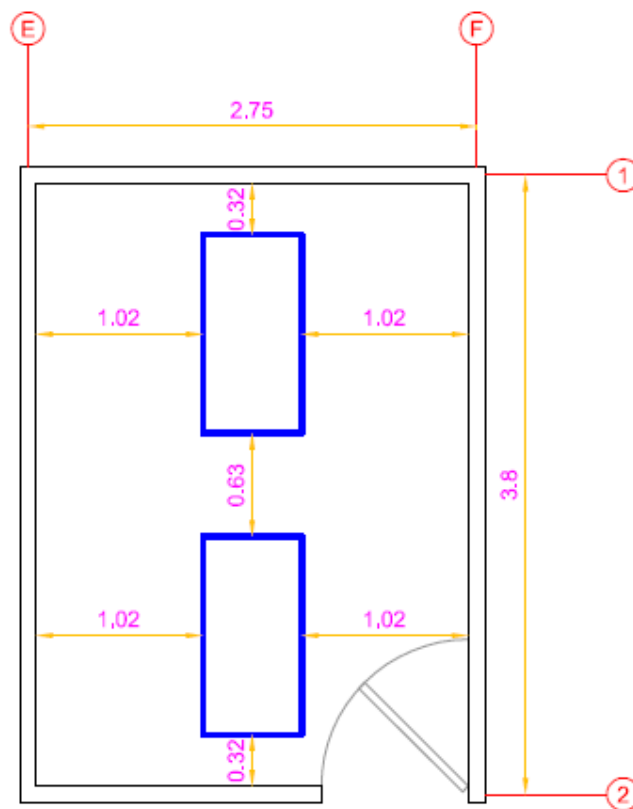


Figura 4.13 WEB-Plano de localización de luminarios

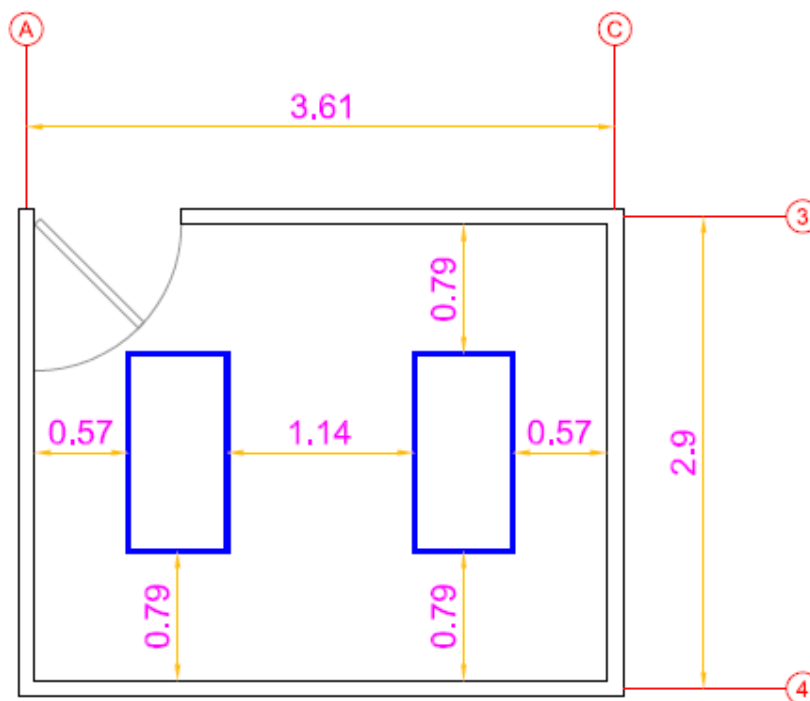


Figura 4.14 DSC-Plano de localización de luminarios

* Dimensiones dadas en metros, [m].

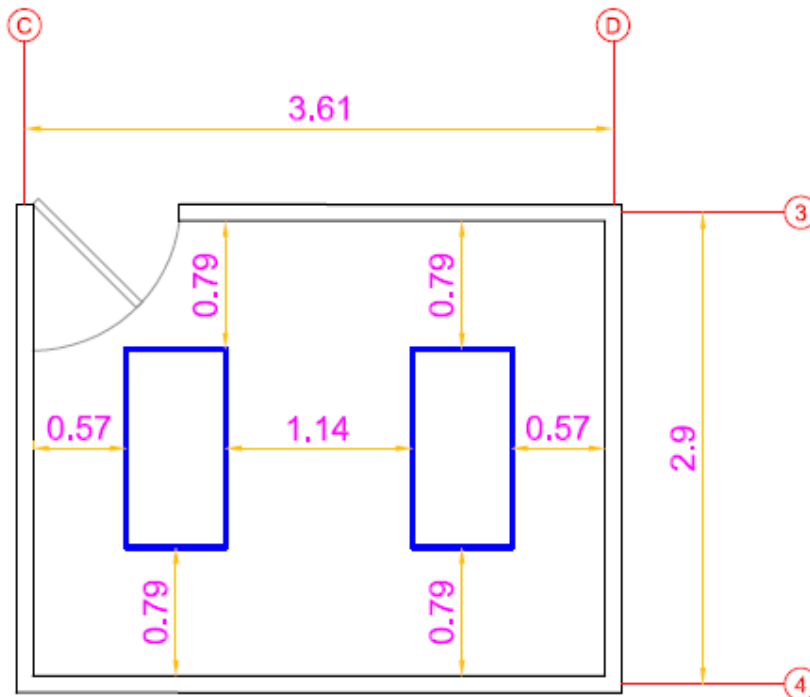


Figura 4.15 DSA-Plano de localización de luminarios

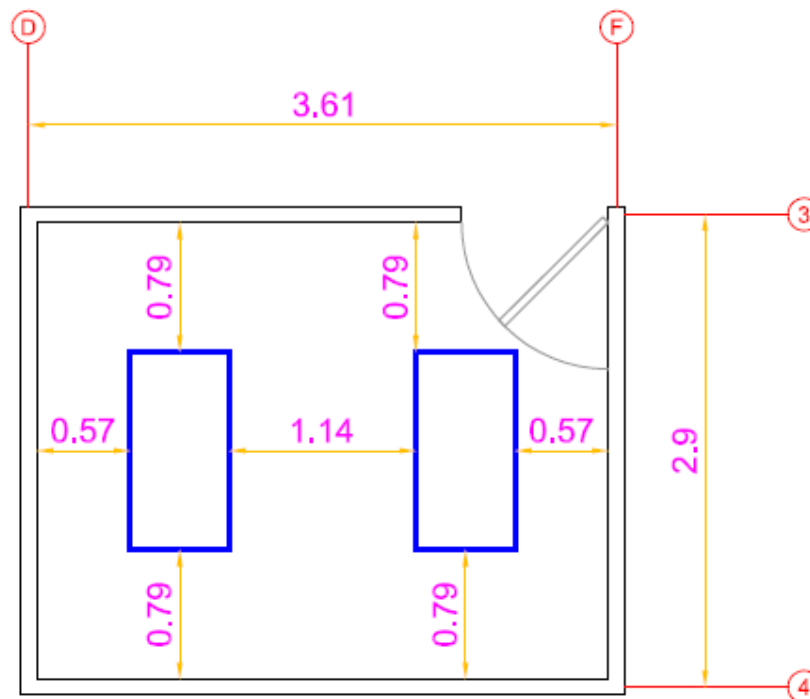


Figura 4.16 DID-Plano de localización de luminarios

* Dimensiones dadas en metros, [m].

4.6 ANÁLISIS LÚMINICO

En este punto se evaluarán los niveles de iluminación que proporcionará (cuando sea implementado) el sistema de iluminación propuesto, así como su grado de uniformidad, ya que estos dos son los principales parámetros que definen la calidad de la iluminación.

El cálculo de los niveles de iluminación se realizará siguiendo la misma metodología descrita en el punto 3.2.2 del capítulo 3.

Se debe considerar que el nivel de iluminación requerido, de acuerdo a la NOM-025-STPS-2008, es de 500[lx].

La uniformidad será evaluada mediante el parámetro denominado *Uniformidad Media*:

$$U_m = \frac{E_{mínima}}{E_{media}} \quad (4.1)$$

Se debe recordar que el valor de la *uniformidad media* debe ser lo más alto posible en iluminaciones generales. Para evaluar la calidad de la uniformidad de la iluminación se tiene la siguiente tabla con valores representativos de la U_m :

Calidad	Valor de U_m
Alta calidad	$U_m \geq 0.8$
Buena calidad	$0.4 < U_m < 0.8$
Baja calidad	$U_m < 0.4$

Tabla 4.8 Calidad de la uniformidad (Tomando como referencia U_m^1)



Figura 4.17 Calidad de un sistema de iluminación

¹ Martín Franco, “Manual práctico de iluminación”.

Cubículo del área Web

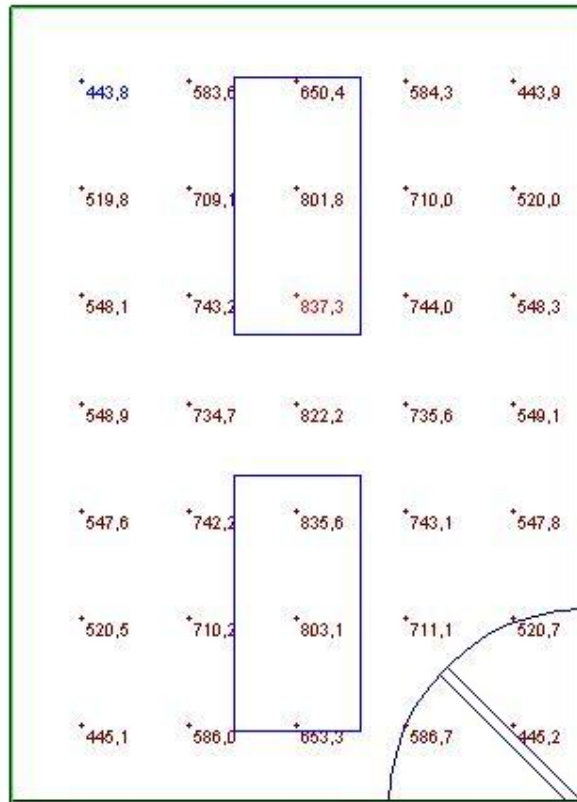


Figura 4.18 Nivel de iluminación en el área WEB (Vista en planta)

Descripción	Media [lx]	Max [lx]	Min [lx]	Max/Min	Media/Min	Um
Cubículo WEB	633	837	444	1.9:1	1.4:1	0.70

Tabla 4.9 Nivel de iluminación en el área WEB

El sistema en este cubículo proporciona el nivel de iluminación requerido por la norma (500 [lx]), de hecho la excede un poco, por lo que el nivel de iluminación resulta ser el adecuado.

La **Uniformidad Media** (Um) tiene un valor de 0.70, por lo que el nivel de uniformidad es de buena calidad.

Cubículo principal de becarios

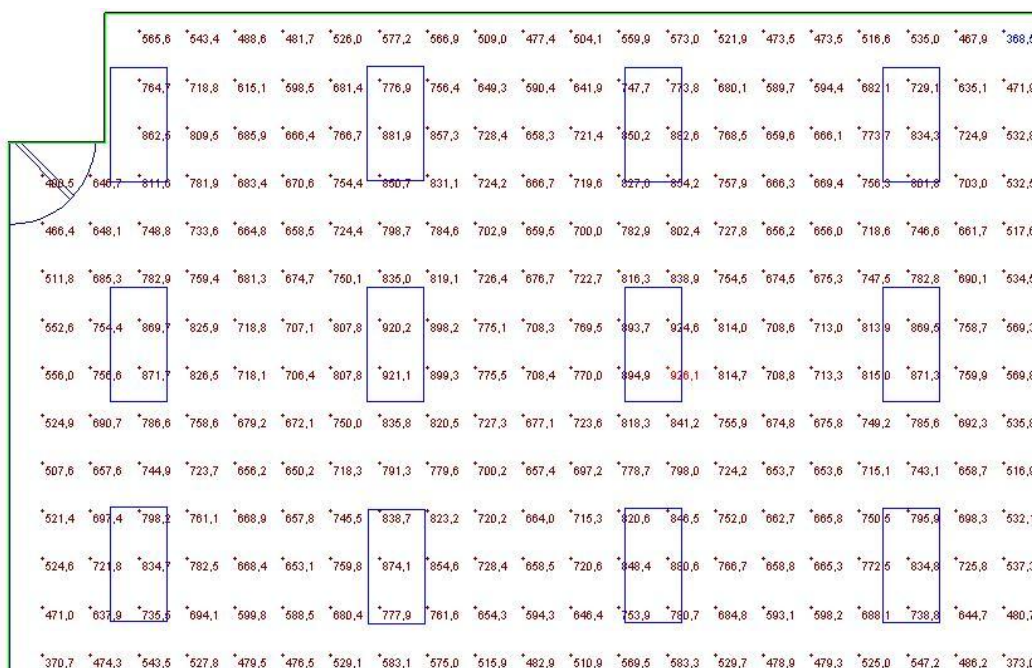


Figura 4.19 Nivel de iluminación en el cubículo principal de becarios (Vista en planta)

Descripción	Media [lx]	Max [lx]	Min [lx]	Max/Min	Media/Min	Um
Cubículo general	691	926	369	2.5:1	1.9:1	0.53

Tabla 4.10 Nivel de iluminación en el cubículo principal de becarios

El nivel de iluminación dentro del cubículo principal de becarios cumple perfectamente con la norma, y el nivel de uniformidad es de buena calidad.

Cubículo del jefe del Departamento de Seguridad en Cómputo (DSC)

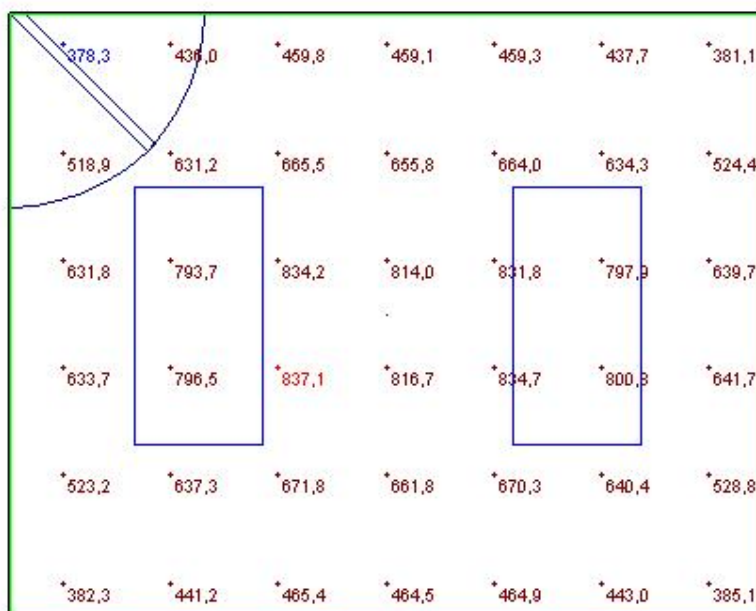


Figura 4.20 Nivel de iluminación DSC (Vista en planta)

Descripción	Media [lx]	Max [lx]	Min [lx]	Max/Min	Media/Min	Um
Cubículo DSC	605	837	378	2.2:1	1.6:1	0.62

Tabla 4.11 Nivel de iluminación DSC

En este cubículo también se cumple con el nivel de iluminación requerido por la norma, y su nivel de uniformidad es de buena calidad.

Cubículo del jefe del Departamento de Servicios Académicos (DSA)

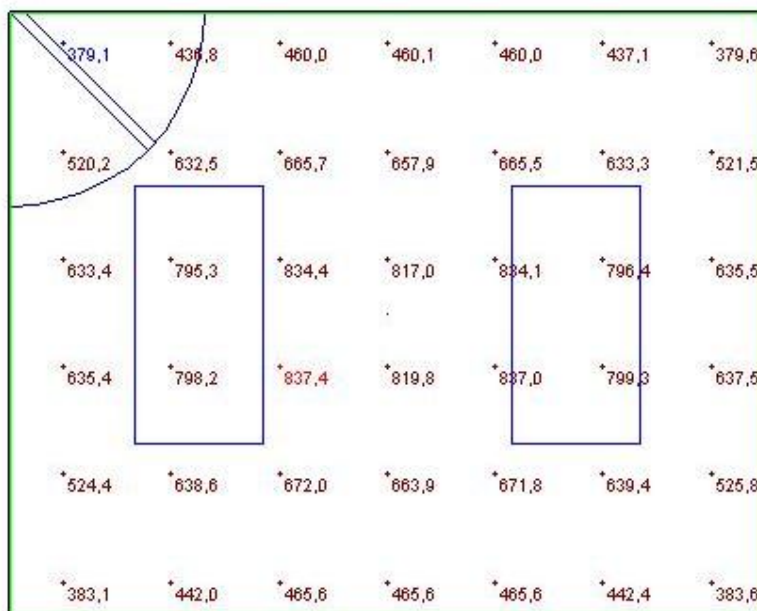


Figura 4.21 Nivel de iluminación DSA (Vista en planta)

Descripción	Media [lx]	Max [lx]	Min [lx]	Max/Min	Media/Min	Um
Cubículo DSA	605	837	378	2.2:1	1.6:1	0.62

Tabla 4.12 Nivel de iluminación DSA

El nivel de iluminación proporcionado por el sistema en del cubículo del Departamento de Servicios Académicos (DSA) cumple con la norma, y presenta un nivel de uniformidad de buena calidad.

Cubículo del jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo (DID)

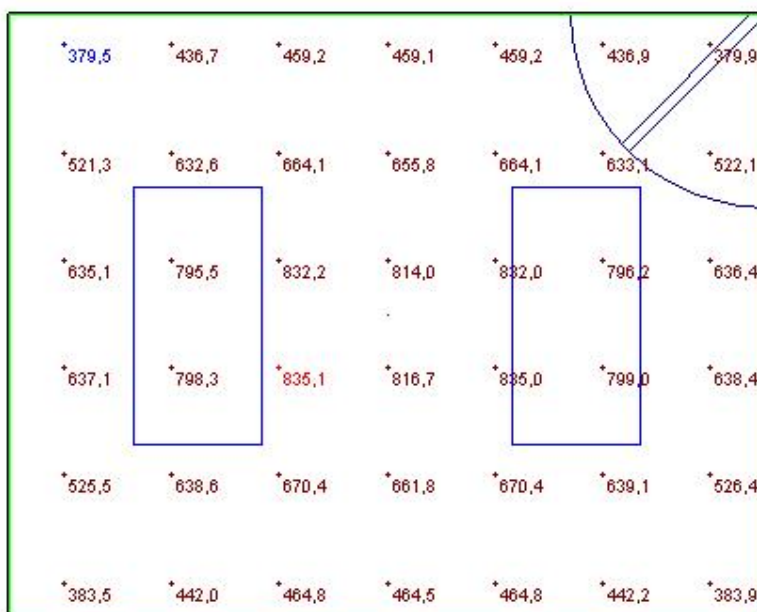


Figura 4.22 Nivel de iluminación DID (Vista en planta)

Descripción	Media [lx]	Max [lx]	Min [lx]	Max/Min	Media/Min	Um
Cubículo DID	605	837	378	2.2:1	1.6:1	0.62

Tabla 4.13 Nivel de iluminación DID

Finalmente, dentro cubículo del Departamento de Investigación y Desarrollo (DID) se cumple con el nivel de iluminación requerido (500 [lx]). El nivel de uniformidad resulta de buena calidad.

4.7 ANÁLISIS ELÉCTRICO Y ENERGÉTICO

Ya que se conoce la calidad de la iluminación que proporciona el sistema, es de vital importancia saber las características eléctricas que presenta.

4.7.1 Carga eléctrica conectada

La carga eléctrica conectada por el concepto del sistema de iluminación propuesto es:

Descripción	Potencia/Unidad [W]	Unidades	Potencia Total [W]
LUMINARIO FLUOR 2x28 T5HE	60	20	1,200
Total		20	1,200

Tabla 4.14 Carga eléctrica conectada del sistema de iluminación propuesto (Potencia activa)

Aquí es donde toma importancia el utilizar un balastro de Factor de Potencia unitario (FP=1), ya que gracias a esto el sistema de iluminación no demanda potencia reactiva.

Matemáticamente se puede comprobar empleando las siguientes expresiones:

$$FP = \cos \theta = \frac{P}{S} \quad (4.2)$$

$$S = \frac{P}{\cos \theta} \quad (4.3)$$

$$\theta = \cos^{-1}(FP) \quad (4.4)$$

$$Q = P \times \tan \theta \quad (4.5)$$

Donde:

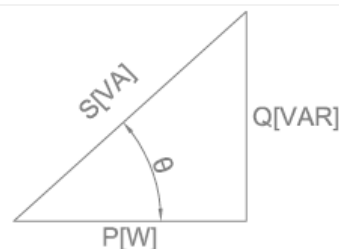
FP= factor de potencia.

P= Potencia activa, dada en [W].

Q= Potencia reactiva, dada en [VAR].

S= Potencia aparente, dada en [VA].

θ = Ángulo de fase, dado en [°].



La potencia aparente del sistema se calcula empleando la *ecuación 4.3*:

$$S = \frac{P}{\cos \theta}$$

Pero de la *ecuación 4.2* se sabe que:

$$FP = \cos \theta = 1$$

Por lo que la potencia aparente del sistema, sustituyendo el valor de $FP = \cos \theta = 1$, es:

$$S = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{P}{1} = P$$

∴

$$S = P$$

Lo anterior indica que la potencia activa del sistema es igual a la potencia aparente, esto permite deducir que no hay demanda de potencia reactiva.

Para el cálculo de la potencia reactiva se utiliza la *ecuación 4.5*:

$$Q = P \times \tan \theta$$

Pero se sabe que $\cos \theta = 1$ lo que indica que $\theta = 0^\circ$, por lo que:

$$Q = P \times \tan \theta$$

$$Q = P \times \tan 0^\circ$$

$$Q = P \times 0 \Rightarrow Q = 0$$

$$Q = 0$$

Por lo tanto, la potencia reactiva del sistema es 0 [VAR], esto indica que el sistema de iluminación propuesto únicamente demanda potencia activa.

Descripción	Factor de potencia [PU]	Angulo de fase [°]	Potencia activa [W]	Potencia reactiva [VAR]	Potencia aparente [VA]
1	1	0	1,200	0	1,200
Total	1	0	1,200	0	1,200

Tabla 4.15 Potencia activa, reactiva y aparente del sistema de iluminación propuesto

4.7.2 Eficacia del sistema

A la hora de diseñar un sistema de iluminación debe ser prioritario alcanzar una elevada eficacia, ya que esto es sinónimo de un mejor aprovechamiento de la energía.

El cálculo de la eficacia del sistema propuesto se obtendrá mediante la ecuación:

$$Ef = \frac{\phi_T [lm]}{p_T [W]} \quad (4.6)$$

Donde:

Ef = Eficacia luminosa del sistema de iluminación, medida en lúmenes por Watt [lm/W].

ϕ_T = Luminoso útil total del sistema de iluminación, en lúmenes [lm].

p_T = Potencia eléctrica total suministrada al sistema de iluminación, dada en Watts [W].

Se tiene que hacer énfasis en que el flujo luminoso ϕ_T se trata del flujo luminoso útil, por lo que el flujo luminoso total instalado se debe multiplicar tanto por el factor de balastro como por el Coeficiente de Utilización.



Figura 4.23 Eficacia del sistema de iluminación

De la *tabla 4.16* se puede extraer el valor del flujo luminoso instalado, el cual es la suma total de los flujos emitidos por cada una de las lámparas que conforman al sistema.

Es importante señalar que se hace una separación de los luminarios dependiendo del área en la cual se encuentran, ya que se debe recordar que el **CU** (*Coefficiente de Utilización*) es función de las dimensiones en las que se encuentra instalado el luminario.

Área	Descripción	Lúmenes/ Luminario [lm]	Unidades	FB	CU	Lúmenes útiles [lm]
WEB	FLUOR 2x28W T5	5,800	2	1	0.58	6,728
CUBÍCULO GENERAL	FLUOR 2x28W T5	5,800	12	1	0.84	58,464
DSC	FLUOR 2x28W T5	5,800	2	1	0.58	6,728
DSA	FLUOR 2x28W T5	5,800	2	1	0.58	6,728
DID	FLUOR 2x28W T5	5,800	2	1	0.58	6,728
Total						85,376

Tabla 4.16 Flujo luminoso del sistema de iluminación propuesto

Por lo que el flujo luminoso total, de acuerdo a la *tabla 4.16*, es:

$$\phi_T = 85,376[lm]$$

De la *tabla 4.14* se tiene que la potencia del sistema es:

$$p_t = 1,200[W]$$

Por lo tanto, la eficacia del sistema es:

$$Ef = \frac{\phi_T[lm]}{p_T[W]} = \frac{85,376[lm]}{1,200[W]}$$

$$Ef = 71 \left[\frac{lm}{W} \right]$$

Eficacia del sistema de iluminación propuesto

El resultado anterior indica que el valor de la eficacia del sistema de iluminación propuesto es **mayor** en comparación con los 46 [lm/W] correspondientes a la eficacia del sistema de iluminación actual de UNICA.

4.7.3 Eficiencia del sistema

La expresión para calcular la eficiencia del sistema de iluminación es:

$$\eta = \frac{P_{SALIDA}}{P_{ENTRADA}} \times 100\% \quad (4.7)$$

Donde:

η = Eficiencia del sistema de iluminación, dada en %.

P_{SALIDA} = Potencia de salida del sistema de iluminación, dada en Watts [W].

$P_{ENTRADA}$ = Potencia de entrada del sistema de iluminación, dada en Watts [W].

La P_{SALIDA} se trata del flujo luminoso total del sistema de iluminación, pero ya que dicho flujo tiene como magnitud [lm] se deben convertir en [W], para esto se utilizará la siguiente constante de conversión:

$$1[W] = 683[lm]$$

Entonces:

$$P_{SALIDA} = \phi_T [lm] \times \frac{1}{683} \left[\frac{W}{lm} \right] \quad (4.8)$$

De la tabla 4.16 se puede obtener el flujo luminoso total:

$$\phi_T = 85,376[lm]$$

Sustituyendo el valor del ϕ_T en la ecuación 4.8:

$$\begin{aligned} P_{SALIDA} &= \phi_T [lm] \times \frac{1}{683} \left[\frac{W}{lm} \right] \\ P_{SALIDA} &= 85,376[lm] \times \frac{1}{683} \left[\frac{W}{lm} \right] \\ P_{SALIDA} &= 125[W] \end{aligned}$$

De la tabla 4.14 se tiene que la potencia de entrada es:

$$P_{ENTRADA} = P_T = 1,200[W]$$

Ya que se conocen los valores tanto de la P_{SALIDA} y de la $P_{ENTRADA}$ se puede calcular la eficiencia del sistema sustituyendo estos valores en la ecuación 4.7:

$$\eta = \frac{P_{SALIDA}}{P_{ENTRADA}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{170}{1,200} \times 100\%$$

$\eta = 10\%$

Eficiencia del sistema de iluminación propuesto

La eficiencia del sistema de iluminación propuesto, al igual que su eficacia, es mayor en comparación a la eficiencia del sistema de iluminación que se encuentra actualmente instalado en UNICA.

4.8 ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación se realizará el análisis económico del sistema de iluminación propuesto.

Los costos que se consideran para este análisis son:

- Costo de la inversión
- Costo eléctrico
- Costo de operación



4.8.1 Costo de la inversión

Este costo abarca el recurso monetario necesario para el equipo y la instalación de los elementos del sistema de iluminación, así como el necesario para solventar la instalación del plafón.

$$CostoInversión_{TOTAL} = CostoInversión_{ILUMINACIÓN} + CostoInversión_{PLAFÓN} \quad (4.9)$$

A su vez, tanto el costo de inversión del sistema de iluminación como el costo del plafón se componen del costo de cada uno de sus componentes y el costo de la instalación.

$$CostoInversión = CostoEquipo + CostoInstalación \quad (4.10)$$

Costo de inversión para el plafón

Solicitando el presupuesto de la instalación del plafón a varias empresas del ramo, se tiene que el precio promedio de la instalación por metro cuadrado de plafón es de \$250. Este precio incluye todo el material necesario para la instalación del plafón, el plafón y la mano de obra de la instalación. Por lo tanto, el costo total de la inversión para el plafón será:

CUBÍCULO	Ancho [m]	Largo [m]	Alto [m]	Área [m ²]	Costo plafón [\$]
WEB	2.75	3.80	2.30	10.45	2,613
GENERAL	10.82	7.00	2.30	75.74	18,935
DSC	3.61	2.90	2.30	10.47	2,617
DSA	3.61	2.90	2.30	10.47	2,617
DID	3.61	2.90	2.30	10.47	2,617
Total				117.60	29,399

Tabla 4.17 Costo de inversión para el plafón (Precio en pesos mexicanos)

$$CostoInversión_{PLAFÓN} = CostoEquipo + CostoInstalación = \$29,399$$

$$CostoInversión_{PLAFÓN} = \$29,399$$

Costo de inversión para el plafón

Costo de inversión para el sistema de iluminación

La tabla siguiente muestra los costos promedio¹ para cada uno de los elementos que componen al sistema de iluminación, así como el costo total.

Equipo	Precio/Unidad	Unidades	Precio total
Lámpara	\$100	40	\$4,000
Balastro	\$400	20	\$8,000
Luminario	\$1,000	20	\$20,000
Toral			\$32,000

Tabla 4.18 Costo de inversión para el equipo del sistema de iluminación propuesto (Precio en pesos mexicanos)

El costo total del equipo del sistema de iluminación propuesto, de acuerdo a la *tabla 4.8*, es:

$$\text{CostoEquipo} = \$32,000$$

Costo del equipo del sistema de iluminación propuesto

El costo de instalación del sistema de iluminación se considera nulo, ya que las empresas que venden el equipo de iluminación se encargan de la implementación del sistema sin ningún costo extra.

Costo total de la inversión

Por lo tanto, considerando el costo tanto del plafón como del sistema de iluminación, se tiene que el costo total de la inversión es:

$$\text{CostoInversión}_{TOTAL} = \text{CostoInversión}_{ILUMINACIÓN} + \text{CostoInversión}_{PLAFÓN} \quad (4.10)$$

$$\text{CostoInversión}_{TOTAL} = \$32,000 + \$29,399$$

$$\text{CostoInversión}_{TOTAL} = \$61,399$$

Costo total de la inversión para el sistema de iluminación propuesto

¹ El costo promedio se calculó considerando los precios ofrecidos por las principales distribuidoras de su ramo.

4.8.2 Costo eléctrico

El costo eléctrico del sistema de iluminación propuesto, al igual que en el caso del sistema de iluminación actual, se trata del recurso monetario que se emplea en pagar la facturación eléctrica por el concepto de iluminación.

Considerando el mismo horario de trabajo descrito en el *capítulo 3*, así como la tarifa eléctrica¹ mencionada en dicho capítulo, se tiene que el costo de la energía eléctrica del sistema de iluminación propuesto es:

$$\text{CostoEnergía}[\$] = \text{Energía}[kWh] \times \text{Carg o}[\$/kWh] \quad (4.11)$$

Para realizar el cálculo de la energía consumida se requiere saber cuánto tiempo se mantiene encendido el sistema de iluminación y en que horario, por lo que se presenta el horario de trabajo de las oficinas de UNICA, así como un resumen de los días de trabajo de un año.

El horario de trabajo que se cumple dentro de las oficinas de UNICA es de lunes a viernes de 7:00 a 22:00 Hrs.

De acuerdo a la tarifa eléctrica presentada en el punto 3.3.1 del capítulo 3, el horario de consumo de energía eléctrica se clasifica en tres tipos de horas:

- Horas base
- Horas intermedias
- Horas punta

El costo del kWh depende del tipo de hora en que se consume, por lo que a continuación se presentan una serie de tablas con la distribución de las horas de funcionamiento del sistema de iluminación de las oficinas de UNICA durante el año 2008.

Día	Horario de trabajo	Horas de trabajo/Día	Horas base/Día	Horas intermedias/Día	Horas punta/Día
Lunes	7:00-22:00	15	0	11	4
Martes	7:00-22:00	15	0	11	4
Miércoles	7:00-22:00	15	0	11	4
Jueves	7:00-22:00	15	0	11	4
Viernes	7:00-22:00	15	0	11	4
Sábado	-----	-----	-----	-----	-----
Domingo	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 4.19 Horario de trabajo de UNICA

¹ Tarifa HM (tarifa horaria para servicio general en media tensión con demanda de 100 [KW] o más).

Mes	Días de trabajo	Horario de trabajo	Horas base/ Mes	Horas intermedias/ Mes	Horas punta/ Mes
Enero	19	7:00-22:00	0	209	76
Febrero	20	7:00-22:00	0	220	80
Marzo	16	7:00-22:00	0	176	64
Abril	22	7:00-22:00	0	286	44
Mayo	20	7:00-22:00	0	260	40
Junio	21	7:00-22:00	0	273	42
Julio	8	7:00-22:00	0	104	16
Agosto	21	7:00-22:00	0	273	42
Septiembre	20	7:00-22:00	0	260	40
Octubre	23	7:00-22:00	0	299	46
Noviembre	19	7:00-22:00	0	209	76
Diciembre	9	7:00-22:00	0	99	36
Total			0	2,668	602

Tabla 4.20 Distribución de las horas de uso del sistema de iluminación de UNICA (Año 2008)

Analizando la tarifa eléctrica de UNICA, se observa que la energía consumida en el horario de punta es la más cara, mientras que la energía que resulta más barata es la consumida en horario base. La tabla anterior muestra que la mayoría de las horas de uso del sistema de iluminación son en horario intermedio, le sigue el horario en punta y en horario base no hay consumo.

Energía consumida

Para realizar el cálculo de la energía consumida por el sistema de iluminación se utilizará la siguiente expresión:

$$Energía[kWh] = Potencia[kW] \times Tiempo[h] \quad (4.12)$$

Donde:

Energía: Energía consumida por el sistema de iluminación.

Potencia: Potencia eléctrica demanda por el sistema de iluminación.

Tiempo: Tiempo durante el que se mantiene en funcionamiento el sistema de iluminación.

Mes	Carga conectada [KW]	kWh base/ MES	kWh intermedia/ MES	kWh punta/ MES	kWh Total Mes
Enero	1.2000	0	250.80	91.20	342.00
Febrero	1.2000	0	264.00	96.00	360.00
Marzo	1.2000	0	211.20	76.80	288.00
Abril	1.2000	0	343.20	52.80	396.00
Mayo	1.2000	0	312.00	48.00	360.00
Junio	1.2000	0	327.60	50.40	378.00
Julio	1.2000	0	124.80	19.20	144.00
Agosto	1.2000	0	327.60	50.40	378.00
Septiembre	1.2000	0	312.00	48.00	360.00
Octubre	1.2000	0	358.80	55.20	414.00
Noviembre	1.2000	0	250.80	91.20	342.00
Diciembre	1.2000	0	118.80	43.20	162.00
Total			3,201.60	722.40	3,924.00

Tabla 4.21 Energía consumida anualmente por el sistema de iluminación propuesto para UNICA (proyección)

Cálculo del costo eléctrico

Ya que se conoce la energía que consume el sistema de iluminación, el siguiente paso es calcular cuanto cuesta dicho consumo. Para esto se debe emplear expresión 4.11:

$$\text{CostoEnergía}[\$] = \text{Energía}[kWh] \times \text{Cargo}[\$/kWh]$$

Donde:

CostoEnergía = Costo de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación.

Energía = Energía consumida por el sistema de iluminación.

Cargo = Cargo por cada kWh que se consume una carga, este valor se encuentra en la tarifa eléctrica.

Aunado al costo de la energía consumida, de acuerdo a la tarifa eléctrica, se tiene el cargo por demanda facturable (véase tarifa eléctrica).

La *tabla 4.22* muestra costo total anual por concepto de iluminación.

Mes	\$ Cargo kWh base	\$ Cargo kWh intermedio	\$ Cargo kWh punta	\$ Cargo DF total	\$ Cargo total
Enero	0	227.2499	173.7725	166.8480	567.87
Febrero	0	249.8760	186.7776	167.0280	603.68
Marzo	0	210.8198	123.2179	168.7800	502.82
Abril	0	365.4737	88.0598	171.5160	625.05
Mayo	0	344.6040	82.1616	174.4320	601.20
Junio	0	381.6540	89.1173	176.9640	647.74
Julio	0	151.6819	34.8960	179.6040	366.18
Agosto	0	423.3575	94.8377	181.6560	699.85
Septiembre	0	421.0440	92.9136	184.4400	698.40
Octubre	0	487.7527	107.2757	184.6800	779.71
Noviembre	0	337.4514	176.7274	185.3040	699.48
Diciembre	0	153.2876	83.2291	187.3680	423.88
Total	0	3,754.2526	1,332.9862	2,128.6200	7,215.86

Tabla 4.22 Costo de la energía eléctrica consumida anualmente por el sistema de iluminación propuesto para UNICA (proyección)

El costo total por el concepto de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación actual de UNICA es de:

\$7,215

Costo eléctrico anual por el sistema de iluminación propuesto para UNICA

Los \$7,215 que representan costo eléctrico anual del sistema de iluminación propuesto para las oficinas de UNICA son menores en comparación con los \$13,061 que se gastan por el sistema de iluminación actual.

4.8.3 Costo de operación

El costo de operación se compone primordialmente de las lámparas que se deben reemplazar en el sistema de iluminación por algún desperfecto que presenten las instaladas.

La siguiente expresión permite calcular las lámparas que se deben reemplazar anualmente:

$$N_{LR} = N_L \times \frac{H_{OA}}{H_V} \quad (4.13)$$

Donde:

N_{LR} = Número de lámparas a reemplazar anualmente.

N_L = Número de lámparas instaladas.

H_{OA} = Horas de operación anual de las lámparas.

H_V = Horas de vida útil de las lámparas.

La *tabla 4.23* contiene tanto la cantidad de lámparas que conforman al sistema de iluminación propuesto, así como su vida útil:

Tipo de lámpara	H_V	N_L
Fluorescente T-5 28W	20,000	40

Tabla 4.23 Cantidad de lámparas que componen el sistema de iluminación propuesto

Las horas de operación anual (H_{OA}) del sistema de iluminación propuesto se pueden obtener de la *tabla 4.20*: $H_{OA} = 3,270$

Empleando la *ecuación 4.13*, los datos de la *tabla 4.23*, así como el valor de H_{OA} ; se tiene que el número de lámparas que se deben tener como reemplazo anual son:

$$N_{LR} = N_L \times \frac{H_{OA}}{H_V} = 40 \times \frac{3,270}{20,000}$$

$$N_{LR} = 6.54 \approx 7$$

Por lo tanto, tomando en consideración que anualmente se reemplazarán 7 lámparas y que el precio de cada una de ellas (de acuerdo a la *tabla 4.18*) es de \$100, el costo anual de operación será de:

\$700

Costo anual de operación del sistema de iluminación propuesto para UNICA

4.9 ANÁLISIS ECOLÓGICO

Un óptimo diseño de un sistema de iluminación tiene implícitamente mejoras al medio ambiente, ya que al utilizar de una manera eficaz la energía eléctrica para la generación de luz se tiene una disminución considerable en la emisión de gases de efecto invernadero

4.9.1 CEE: Coeficiente Eléctrico de Emisión de GEI

El Coeficiente Eléctrico de Emisión de Gases de Efecto Invernadero es un factor que indica cuantas toneladas de Dióxido de Carbono son emitidas por cada MWh de energía consumida.

$$CEE = 0.5368 \left[\frac{tCO_2}{MWh} \right] \quad (4.14)^1$$

4.9.2 Dióxido de Carbono emitido

Utilizando el CEE se puede calcular cuantas toneladas de Dióxido de Carbono son emitidas anualmente por el funcionamiento del sistema actual de iluminación:

La energía consumida anualmente se puede obtener de la *tabla 4.21*:

$$Energía = 3,924[kWh] = 3.924[MWh]$$

Por lo que:

$$tCO_2 = CEE \left[\frac{tCO_2}{MWh} \right] \times Energía[MWh]$$

$$tCO_2 = 0.5368 \left[\frac{tCO_2}{MWh} \right] \times 3.924[MWh]$$

$tCO_2 = 2.10$

Toneladas de CO₂ emitidas anualmente por el sistema de iluminación propuesto

¹ Dato emitido por la Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética (ATPAE) para el año 2008.

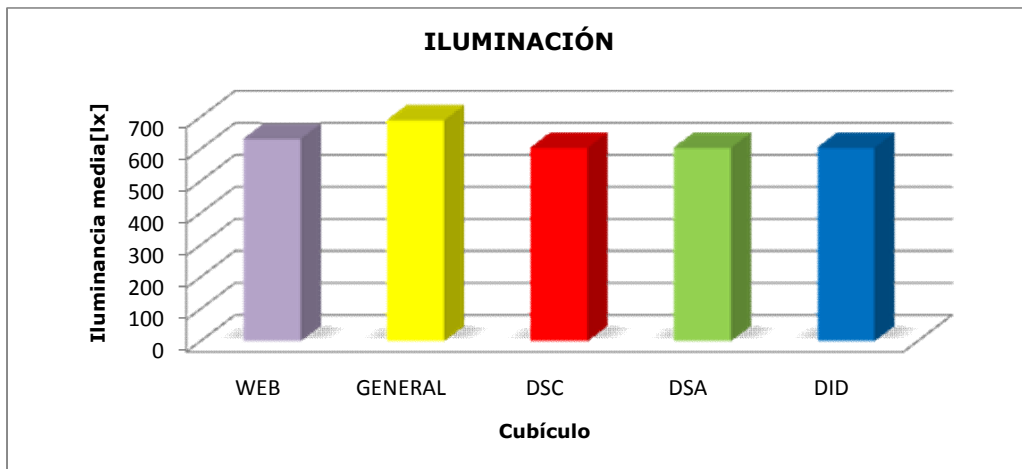
ANÁLISIS DE RESULTADOS

ILUMINACIÓN

El primer parámetro que se debe analizar es la iluminancia media que proporcionará el sistema de iluminación cuando sea instalado. El valor que debe cumplir la propuesta es de 500[lx], los cuales se solicitan en la norma oficial mexicana NOM-025-STPS-2008 para áreas de cómputo.

A continuación se presenta una tabla en donde se muestran los niveles de iluminancia media que entregará el sistema de iluminación propuesto de acuerdo a los cálculos realizados en el capítulo 5.

CUBÍCULO	ILUMINANCIA MEDIA [lx]
WEB	633
GENERAL	691
DSC	605
DSA	605
DID	605



Se aprecia que los niveles de iluminancia media en cada uno de los cubículos cumplen cabalmente con la norma oficial mexicana NOM-025-STPS-2008.

El siguiente parámetro a evaluar es el nivel de uniformidad:

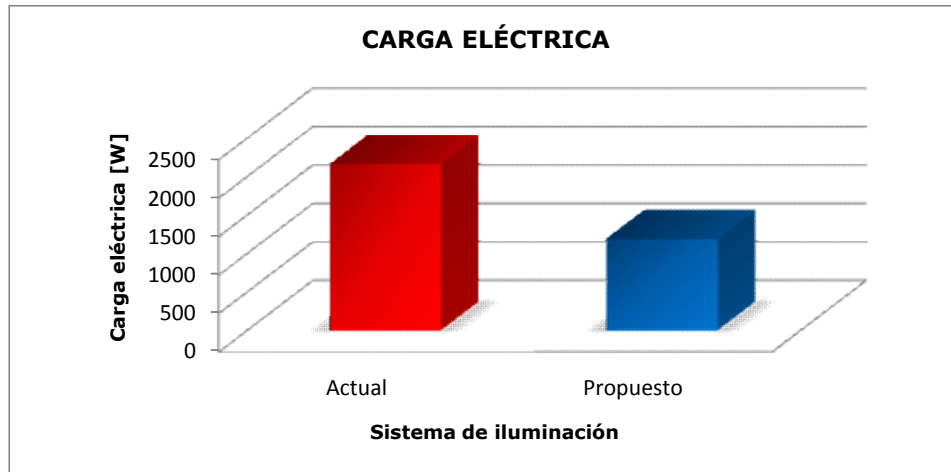
CUBÍCULO	UNIFORMIDAD
WEB	Buena
GENERAL	Buena
DSC	Buena
DSA	Buena
DID	Buena

En todos los cubículos la uniformidad de la iluminación es buena.

CARGA ELÉCTRICA CONECTADA

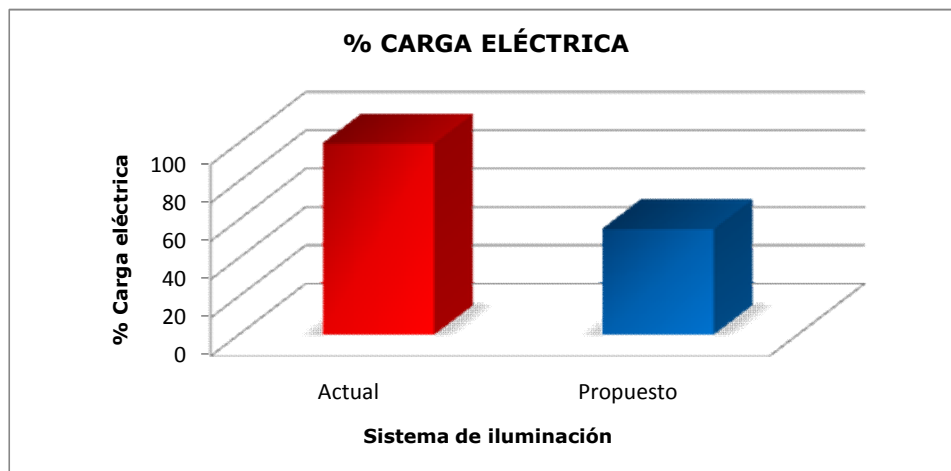
El sistema de iluminación propuesto presenta una carga eléctrica de 1,200[W], la cual resulta menor en comparación a la de carga eléctrica del sistema actualmente instalado que presenta 2,172[W].

SISTEMA DE ILUMINACIÓN	CARGA ELÉCTRICA [W]
Actual	2,172
Propuesto	1,200



El sistema de iluminación propuesto logra reducir en un 45% la carga instalada actualmente.

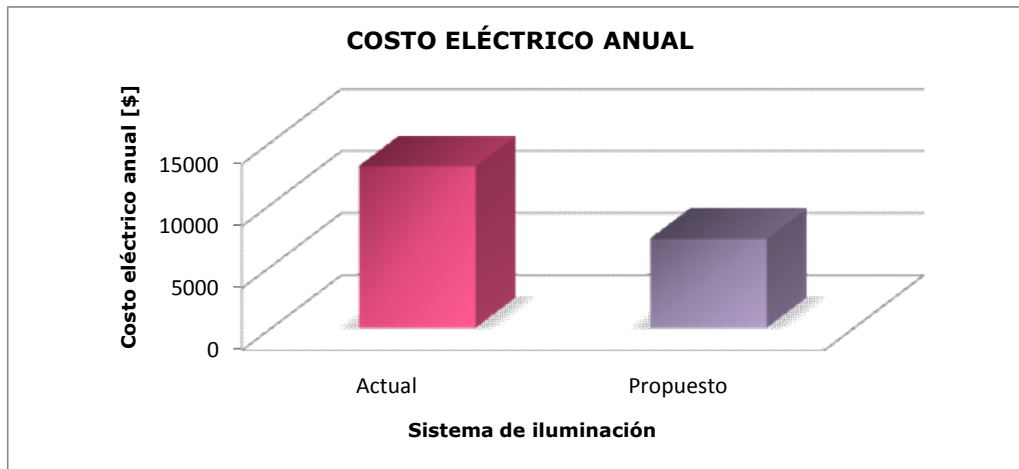
SISTEMA DE ILUMINACIÓN	% CARGA ELÉCTRICA
Actual	100
Propuesto	55



COSTO ELÉCTRICO

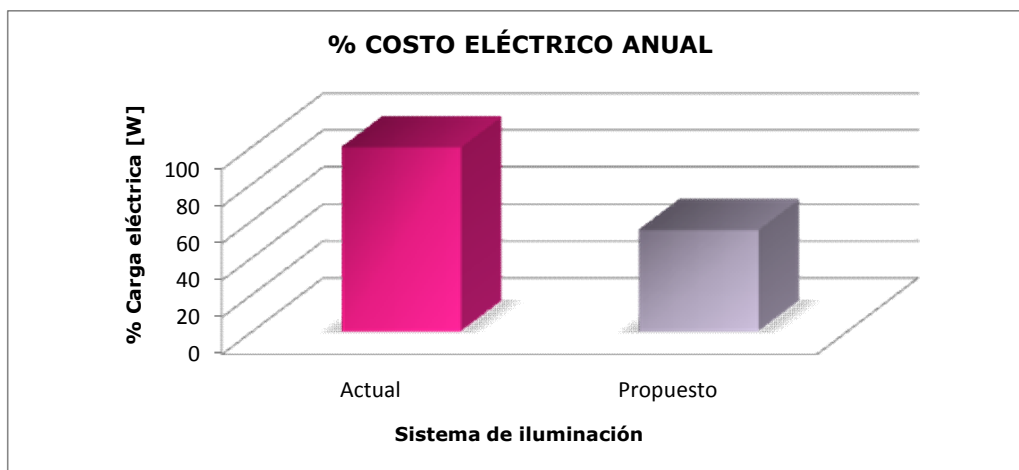
Al obtener una reducción en la carga eléctrica instalada, también se obtiene una reducción en el costo eléctrico. El sistema actual tiene un costo eléctrico anual de \$13,061 mientras que el sistema propuesto tendría un costo eléctrico anual de \$7,215.

SISTEMA DE ILUMINACIÓN	COSTO ELÉCTRICO ANUAL [\$]
Actual	13,061
Propuesto	7,215



El ahorro que se obtendrá con el sistema de iluminación propuesto es de \$5,846 anualmente, lo cual representa el 45% del costo eléctrico anual que se tiene actualmente.

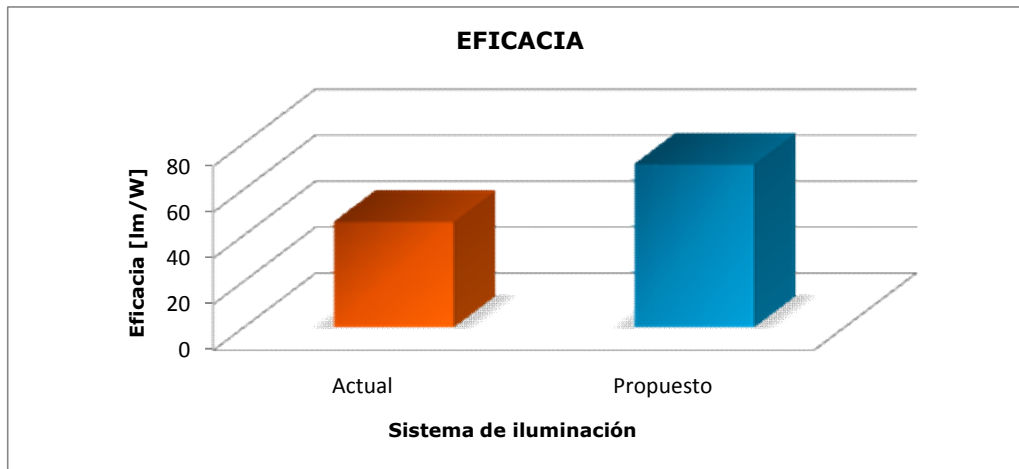
SISTEMA DE ILUMINACIÓN	% COSTO ELÉCTRICO ANUAL [\$]
Actual	100
Propuesto	55



EFICACIA Y EFICIENCIA

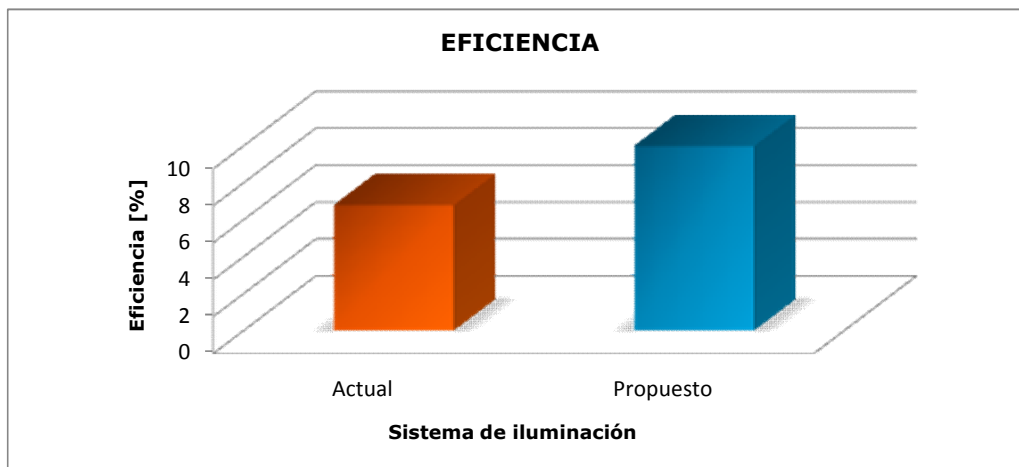
El sistema de iluminación actual tiene una eficacia de 46[lm/W], mientras la eficacia del propuesto es de 71 [lm/W]. Este aumento de eficacia es resulta sumamente útil e importante, ya que implícitamente representa mejoras económicas.

SISTEMA DE ILUMINACIÓN	EFICACIA [lm/W]
Actual	46
Propuesto	72



La eficiencia del sistema también presenta un aumento considerable con respecto al que se encuentra instalado, ya que de 6.8% se obtiene un 10%.

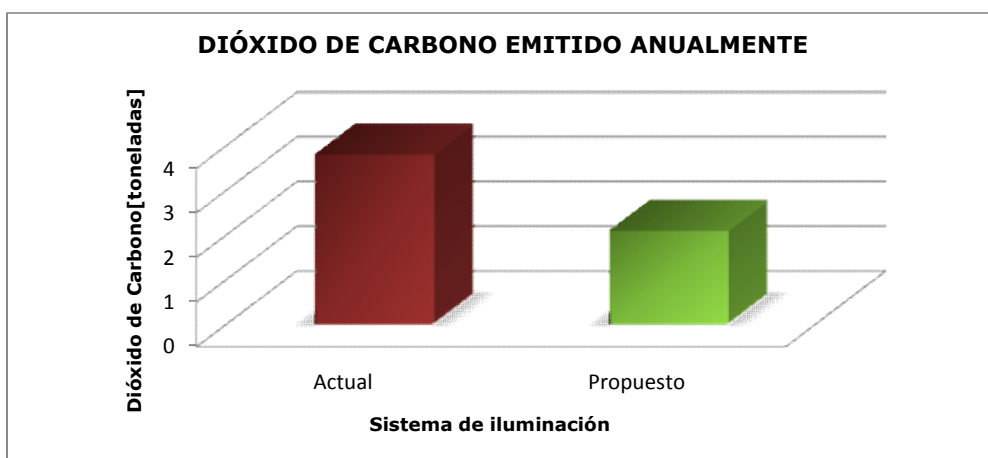
SISTEMA DE ILUMINACIÓN	EFICIENCIA [%]
Actual	6.8
Propuesto	10



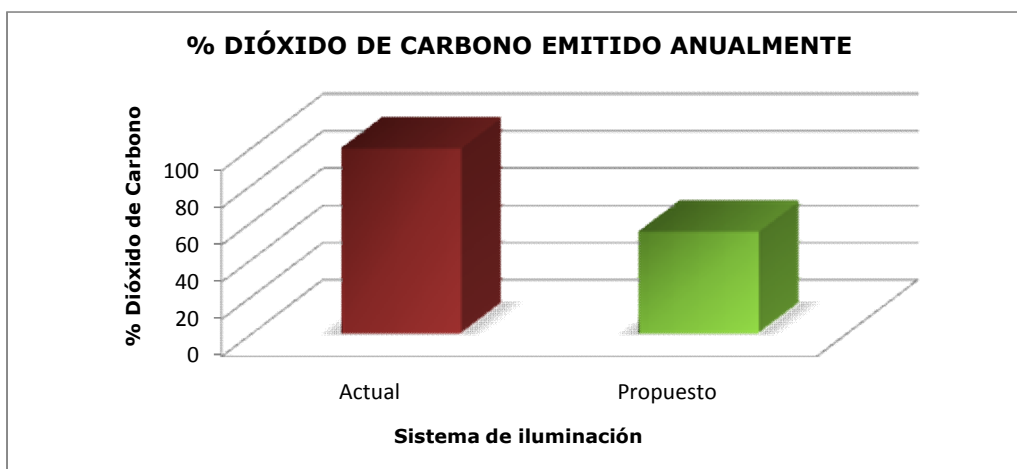
DIÓXIDO DE CARBONO EMITIDO

Por último se compara la emisión de dióxido de carbono (CO_2) del sistema de iluminación propuesto en relación con el actual.

SISTEMA DE ILUMINACIÓN	CO ₂ EMITIDO ANUALMENTE [toneladas]
Actual	3.81
Propuesto	2.10



La reducción en la emisión de CO₂ es de casi 2 toneladas respecto al sistema de iluminación actual, las cuales representan un 45%.



CONCLUSIONES

- ❖ Se cumplió el objetivo de esta tesis.
- ❖ Se realizó un análisis detallado del consumo energético, de los costos y de la repercusión ecológica del sistema de iluminación actual de las instalaciones de UNICA.
- ❖ Se logró el diseño un sistema de iluminación de buena calidad en cuanto a sus características lumínicas para las oficinas de UNICA.
- ❖ El sistema de iluminación propuesto para las oficinas de UNICA presenta alta eficacia y eficiencia respecto al sistema de iluminación instalado actualmente.
- ❖ El sistema de iluminación propuesto reduce en un 45% la carga eléctrica conectada por concepto de iluminación.
- ❖ La reducción de 45% en la carga eléctrica conectada se traduce en una reducción proporcional (45%) en el costo eléctrico.
- ❖ La reducción del 45% en la carga eléctrica por el concepto de iluminación también se vio reflejada en una reducción en la emisión de Dióxido de Carbono del mismo valor.
- ❖ La elevada eficacia y eficiencia de un sistema de iluminación depende de la mejor elección en cada uno de sus elementos: lámpara, balastro y luminaria
- ❖ Las lámparas fluorescentes lineales T5 son la mejor tecnología actualmente, en cuanto a fuentes de luz artificial se refiere, para solucionar problemas de iluminación en áreas de oficinas, ya que actualmente constituyen una tecnología totalmente desarrollada que presenta una elevada eficacia.
- ❖ Los luminarios, al igual que las lámparas, son un punto medular para diseñar un sistema de iluminación, ya que son estos los que se encargan de repartir de una forma correcta la luz que emiten las lámparas.
- ❖ Los balastos son de igual importancia que las lámparas y los luminarios en un sistema de iluminación, ya que de ellos dependen el correcto funcionamiento de las lámparas. Actualmente los balastos electrónicos de alta frecuencia son los ideales para trabajar con lámparas T5.
- ❖ La implementación de sistemas de iluminación eficaces constituye una sólida herramienta para disminuir la emisión de gases contaminantes como el Dióxido de Carbono, ya que utiliza de una forma eficiente la energía eléctrica.

- ❖ El empleo de software para el cálculo de niveles de iluminación es una herramienta que minimiza el tiempo que se debe dedicar para realizar dichos cálculos.

ANEXO 1 CONCEPTOS BÁSICOS

Los sistemas de iluminación representan una carga eléctrica, por esta razón es necesario conocer ciertos conceptos básicos tanto eléctricos como lumínicos que permitan entender y caracterizar a cada uno de los elementos que componen al sistema.

A1.1 CONCEPTOS BÁSICOS ELÉCTRICOS

A1.1.1 Carga Eléctrica

La carga eléctrica es una propiedad intrínseca de la materia que se manifiesta mediante una fuerza de atracción o repulsión dependiendo de la naturaleza de dicha carga. Para entender el concepto de carga eléctrica es conveniente saber que los átomos que conforman la materia se componen por tres tipos de partículas subatómicas: electrón, neutrón y protón.

Existen tres tipos de carga eléctrica:

- Positiva: carga característica de los protones
- Negativa: carga característica de los neutrones
- Neutra: carga característica de los neutrones

La existencia de las cargas eléctricas tiene como consecuencia fundamental la generación de una fuerza que presenta las siguientes características:

1. La presencia de cargas eléctricas se manifiesta por la existencia de fuerzas atractivas o repulsivas entre ellas. Estas fuerzas llegan a ser lo suficiente grandes para que sea posible realizar medidas cuantitativas en el laboratorio.
2. La fuerza entre un par dado de cargas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.
3. La fuerza entre dos cargas es proporcional a la magnitud de una carga multiplicada por la magnitud de la otra.
4. La fuerza entre dos cargas cualesquiera es independientes de la presencia de otras cargas.

La unidad de carga eléctrica, en el Sistema Internacional de Unidades, es el Coulomb.

Definición

Se define como Coulomb la cantidad de carga que pasa por una sección en 1 segundo cuando la corriente eléctrica es de 1 ampere, y se corresponde con la carga de $6,24 \times 10^{18}$ electrones aproximadamente.

De lo anterior se deduce que la carga eléctrica de un electrón es de 1.602×10^{-19} [C].

A1.1.2 Intensidad de Corriente Eléctrica

Definición

La intensidad de corriente eléctrica es el flujo de electrones a través de la sección de un conductor por unidad de tiempo.

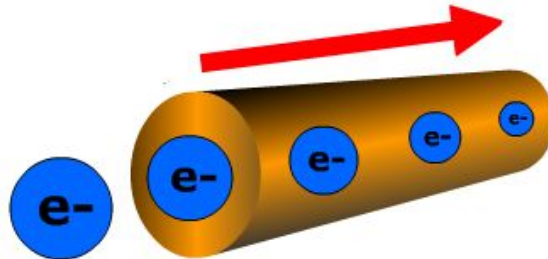


Figura A1.1 Intensidad de corriente eléctrica

Unidad

En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de intensidad de corriente es el amperio (A); un amperio es el flujo de un coulomb por segundo.

Definición matemática

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Donde:

i = Intensidad de corriente, dada en Amperes [A].

dq = Diferencial de carga, dada en Coulombs [C].

dt = Diferencial de tiempo, dado en segundos [s].

Clasificación

Con base en cómo se comporta la magnitud de la intensidad de corriente a lo largo del tiempo, se puede clasificar en:

Corriente continua (CC)	Corriente Directa (CD)	Corriente Alterna (CA)
Corriente unidireccional de magnitud variable.	Corriente unidireccional de magnitud constante. La corriente producida por una pila es un ejemplo claro de la corriente Directa.	Corriente de magnitud y dirección variable a lo largo del tiempo. La corriente alterna que se usa con mayor frecuencia es la senoidal, este tipo de corriente es con la que se alimenta a los hogares.

A1.1.3 Voltaje

Para que los electrones se trasladen a lo largo de un conductor se requiere de una fuerza que los impulse, esta fuerza es lo que se conoce como voltaje o diferencia de potencial.



Figura A1.2 Voltaje (diferencia de potencial o tensión)

Definición

El *voltaje*, la *tensión* o *diferencia de potencial* es una magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito cerrado.

El voltaje también se define como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico, sobre una partícula cargada, para moverla de un punto a otro.

Unidad

En el Sistema Internacional de Unidades, el voltaje se mide en *Volts*, el cual se designa por $[V]$.

Definición matemática

$$v = \frac{dw}{dq}$$

Donde:

v = Voltaje, dado en Volts (V).

dw = Diferencial de trabajo, dado en Jouls [J].

dq = Diferencial de carga, dado en Coulombs [C].

A1.1.4 Energía eléctrica

Para definir la energía eléctrica, primero se debe tener un panorama general de lo que es la "Energía".

Definición de energía

La energía es la capacidad de realizar un trabajo. En el Sistema Internacional de Unidades se mide en Joules, los cuales se designan con la letra [J].

Definición de energía eléctrica

La energía eléctrica es la capacidad de realizar trabajo a partir del flujo de electrones provocado por una diferencia de potencial.

Su uso es una de las bases de la tecnología utilizada por el ser humano en la actualidad.

La energía eléctrica se manifiesta como corriente eléctrica, es decir, como el movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable conductor metálico como consecuencia de la diferencia de potencial que un generador esté aplicando en sus extremos.

Unidad

La unidad de medida para la energía eléctrica, al igual que la unidad de todas las formas de energía, es el Joule, el cual se designa por [J]. Aunque en el ámbito de la energía eléctrica se emplea la unidades [kWhr].

$$1 \text{ [kWhr]} = 3,600,000 \text{ [J]}$$

Generación de energía eléctrica

La energía eléctrica se puede obtener a través de distintos medios:

- Centrales termoeléctricas
- Centrales hidroeléctricas
- Centrales geo-termo-eléctricas
- Centrales nucleares
- Centrales de ciclo combinado
- Centrales de turbo-gas
- Centrales eólicas
- Centrales solares

A1.1.5 Potencia eléctrica

Al igual que la energía eléctrica, para comprender el término de potencia eléctrica hay que entender el concepto de potencia.

Definición de potencia

La potencia es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo. Esto es equivalente a la velocidad de cambio de energía en un sistema o al tiempo empleado en realizar un trabajo.

Definición de potencia eléctrica

La potencia eléctrica es la cantidad de energía eléctrica que se absorbe o se suministra por unidad de tiempo.

Cuando se trata de corriente continua (CD), la potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante por un dispositivo de dos terminales es el producto de la diferencia de potencial entre dichos terminales y la intensidad de corriente que pasa a través del dispositivo.

$$p = i * v$$

Donde i es el valor instantáneo de la corriente y v es el valor instantáneo del voltaje. Si i se expresa en Amperes y v en Volts, p estará expresada en Watts.

Unidades

En el Sistema Internacional de Unidades, la potencia se mide en [Joules/segundo].

En ámbito de la ingeniería eléctrica, la potencia eléctrica se mide en Watts, el cual se designa por [W].

$$1[\text{Watt}] = \frac{1[\text{Joule}]}{1[\text{segundo}]}$$

Definición matemática

$$p = \frac{dw}{dt}$$

Donde:

p = Potencia, dada en Watts (W)

dw = Diferencial de trabajo energía, dada en Joules [J]

dt = Diferencial de tiempo, dado en segundos [s]

A1.1.6 Resistor

Resistividad

La propiedad de un material de resistir el flujo de corriente se llama *resistividad*, ρ . Los materiales que son buenos aislantes eléctricos tienen una alta resistividad. Los materiales que son buenos conductores de la corriente eléctrica tienen baja resistividad.

Resistencia

La resistencia es la propiedad física de un elemento o un dispositivo que impide el flujo de corriente eléctrica; se representa con la letra R.

Definición matemática

George Simón Ohm demostró que el flujo de corriente, en un circuito formado por una batería y un alambre conductor de sección uniforme, se puede expresar como:

$$i = \frac{Av}{\rho L}$$

Donde A es el área de la sección transversal, ρ la resistividad, L la longitud y v el voltaje a través del alambre conductor. Ohm definió a la resistencia R como:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

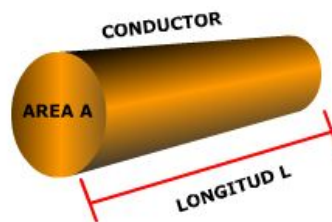


Figura A1.3 Conductor eléctrico

Unidades

En el Sistema Internacional de Unidades se mide en Ohms, los cuales se designan con la letra griega $[\Omega]$.

Resistor

Un resistor (también denominado resistencia) ideal es un elemento pasivo, el cual posee una resistencia R, que disipa energía en forma de calor según la ley de Joule.



Figura A1.4 Simbología de un resistor

A1.1.7 Ley de Ohm

En 1826 el científico alemán George Simón Ohm publicó un artículo en el que sus mediciones de electricidad fueron resumidas en una relación simple entre la intensidad de corriente y el voltaje.



Figura A1.5 George Simon Ohm

Enunciado

En un conductor recorrido por una corriente eléctrica, el cociente entre la diferencia de potencial aplicada a los extremos del conductor y la intensidad de la corriente que por él circula es una cantidad constante, que depende del conductor. A esta cantidad se le denomina resistencia.

Definición matemática

$$V = I * R$$

Donde, empleando unidades del Sistema Internacional de Unidades, tenemos que:

V = Diferencia de potencial (Voltaje) en Volts [V]

I = Intensidad en Ampers [A]

R = Resistencia en Ohms [Ω].

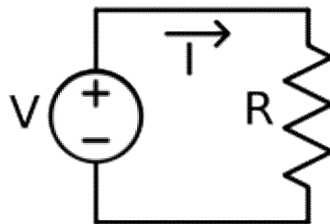


Figura A1.6 Circuito eléctrica básico

A1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN

A1.2.1 Espectro electromagnético

Se denomina *espectro electromagnético* a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas.

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio.

El espectro electromagnético se puede dividir en diversas bandas.

La *tabla A1.1* muestra el espectro electromagnético, con sus longitudes de onda y frecuencias.

Onda electromagnética	Longitud de onda	Frecuencia
Rayos gamma	< 10 pm	> 30,0 EHz
Rayos X	< 10 nm	> 30,0 PHz
Ultravioleta Extremo	< 200 nm	> 1,5 PHz
Ultravioleta Cercano	< 380 nm	> 789 THz
Luz Visible	< 780 nm	> 384 THz
Infrarrojo Cercano	< 2,5 μm	> 120 THz
Infrarrojo Medio	< 50 μm	> 6,00 THz
Infrarrojo Lejano/submilimétrico	< 1 mm	> 300 GHz
Microondas	< 30 cm	> 1 GHz
Ultra Alta Frecuencia Radio	< 1 m	> 300 MHz
Muy Alta Frecuencia Radio	< 10 m	> 30 MHz
Onda Corta Radio	< 180 m	> 1,7 MHz
Onda Media Radio	< 650 m	> 650 kHz
Onda Larga Radio	< 10 km	> 30 kHz
Muy Baja Frecuencia Radio	> 10 km	< 30 kHz

Tabla A1.1 Espectro electromagnético

A1.2.2 Luz

El trabajo del físico escocés J. C. Maxwell y desarrollos posteriores de fines del siglo XIX hicieron evidente que la luz tiene naturaleza electromagnética, por lo que se puede decir que:

La luz (del latín *lux*) es la energía electromagnética radiante capaz de ser percibida por el ojo humano, en otras palabras, la luz es parte del espectro electromagnético que es visible. Se trata de una radiación entre 380 y 780 [nm] de longitud de onda.

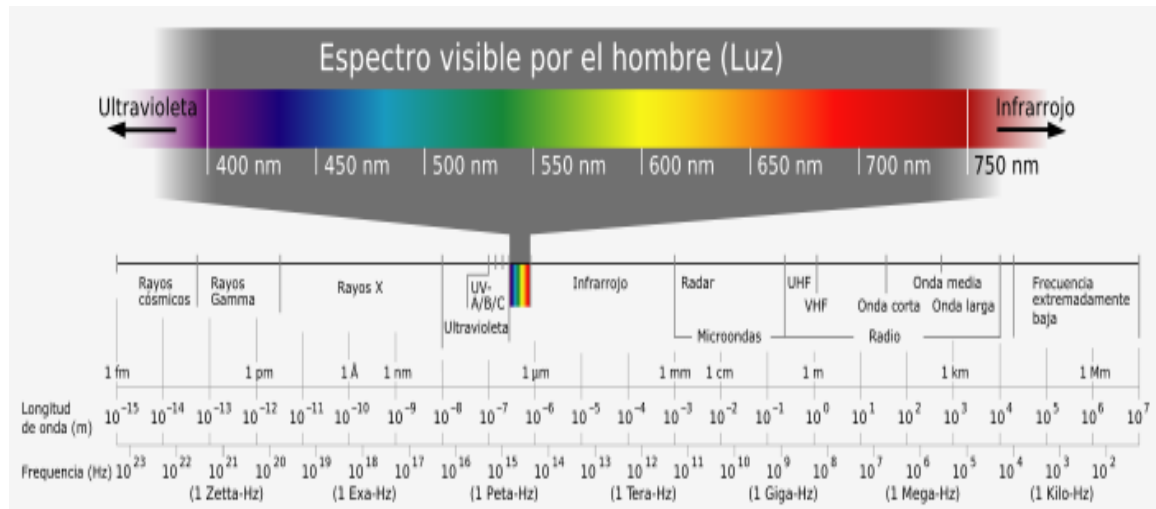


Figura A1.7 Espectro electromagnético

La luz visible es una región muy estrecha pero sumamente importante, ya que la retina humana es sensible a las radiaciones de estas frecuencias. A su vez, se subdivide en seis intervalos que definen los colores básicos (rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta).

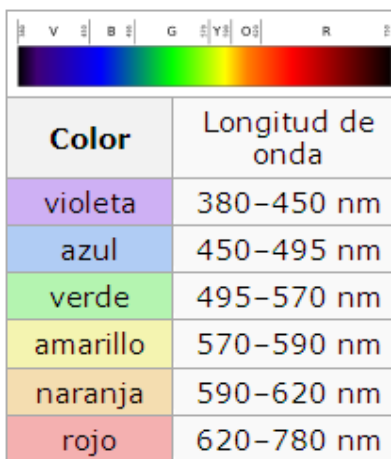


Figura A1.8 Espectro electromagnético visible

A1.2.3 Flujo luminoso Φ

Definición

Se denomina flujo luminoso a la potencia radiada que es emitida por una fuente de luz y que es percibida por el ojo humano.

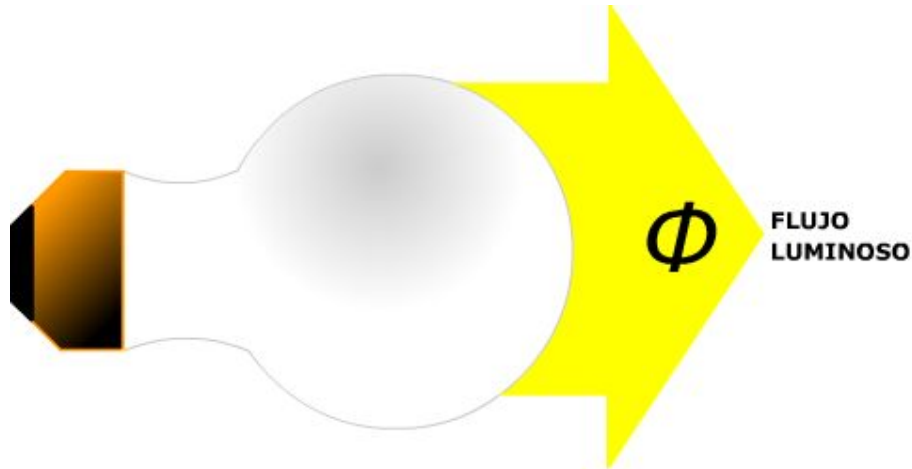


Figura A1.9 Flujo luminoso

El flujo luminoso describe la potencia luminosa total emitida por una fuente de luz. Se puede expresar esta potencia de radiación, por ser energía entregada, en Watts. No obstante, el efecto óptico de una fuente de luz no es descrito adecuadamente de esta manera, ya que la radiación entregada es captada sin diferenciación alguna en toda la banda de frecuencias, y porque no tiene en cuenta la sensibilidad espectral variable del ojo. Mediante la consideración de la sensibilidad espectral del ojo se obtiene la magnitud llamada lumen. Un flujo de radiación de 1W, entregado en la sensibilidad espectral máxima del ojo (fotoóptica, 555 [nm]), genera un flujo luminoso de 683 [lm]. Por otro lado, el mismo flujo de radiación genera en las gamas de frecuencias de menor sensibilidad unos flujos luminosos más pequeños.

Unidad

Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es el Lumen, el cual se designa por [lm], y se define a partir de la unidad básica del SI, la candela (Cd), como:

$$1[\text{lm}] = 1[\text{cd}] \times 1[\text{estereorradián}]$$

Existe una relación entre el Lumen y el Wat, la cual está dada por la siguiente equivalencia:

$$1[\text{W}] = 683[\text{lm}]$$

A1.2.4 Intensidad luminosa I

Generalmente, una fuente de luz emite su flujo luminoso en diferentes direcciones con diferentes intensidades. La intensidad de luz emitida en una dirección determinada se conoce como intensidad luminosa I.

Unidad

Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es la candela, la cual se designa por [cd].

Definición matemática

$$I = \frac{d\phi}{d\theta}$$

Donde:

I = Intensidad luminosa, medida en candelas [Cd].

$d\phi$ = Diferencial flujo luminoso, en lúmenes [lm].

$d\theta$ = Elemento diferencial de ángulo sólido, en estereorradianes [sr].

1 Candela

Una Intensidad luminosa de 1 [cd] significa que un flujo luminoso de 1 [lm] ilumina a un ángulo sólido de 1 [sr].

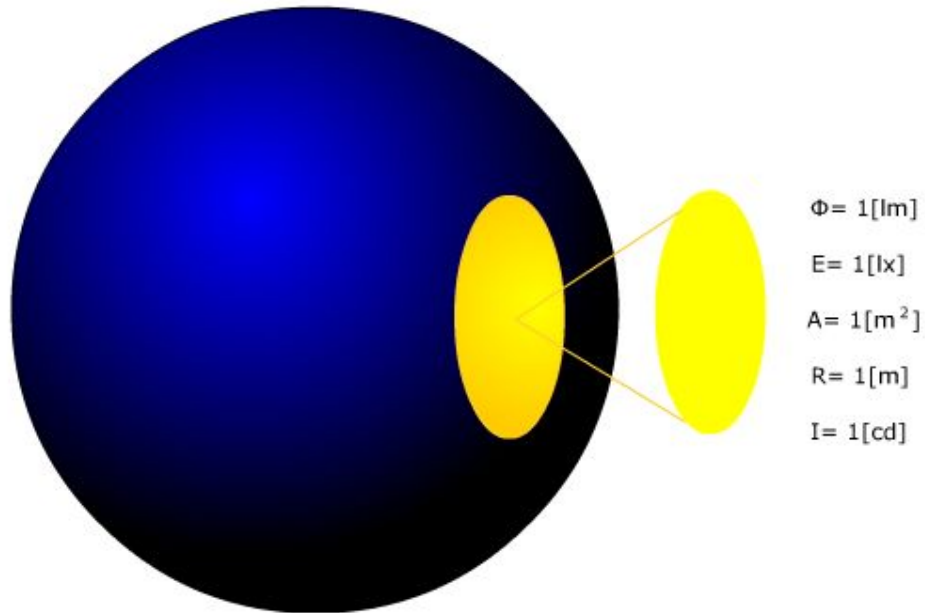


Figura A1.10 Candela

A1.2.5 Iluminancia E

La iluminancia E es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área.

Unidad

Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es el Lux, el cual se designa por [lx].

Definición matemática

$$E = \frac{\phi}{A}$$

Donde:

E = Iluminancia, dada en Luxes [lx].

ϕ = Flujo luminoso, dado en Lúmenes [lm].

A = Área, dada en metros cuadrados [m^2].

1 Lux

Una Iluminancia de 1 [lx] significa que un flujo luminoso de 1 [lm] ilumina una superficie de 1 [m^2].

$$1[lux] = \frac{1[lm]}{1[m^2]}$$

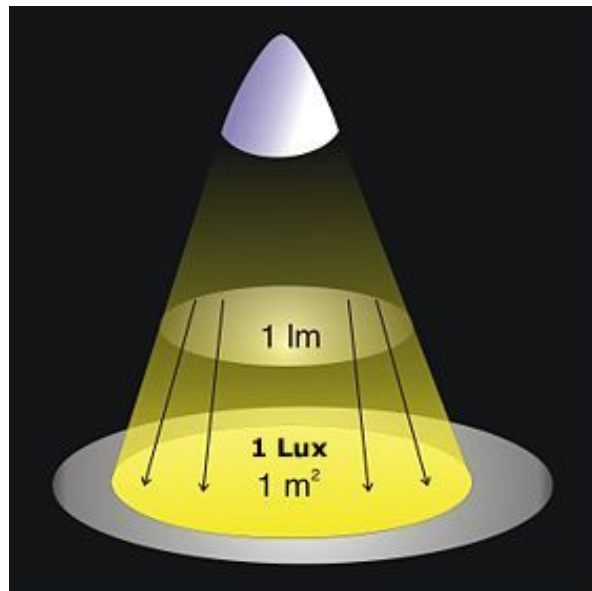


Figura A1.11 Lux

A1.2.6 Luminancia L

Definición

La *luminancia* se define como la densidad angular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada.

Alternativamente, también se puede definir como la relación entre la intensidad luminosa, en una dirección, y la superficie de la fuente proyectada según dicha dirección.

Definición matemática

$$L = \frac{I}{S \cos \alpha}$$

Donde:

L = Luminancia, medida en candelas /metro².

I = Intensidad luminosa, en candelas [cd].

S = Superficie luminosa, en metros² [m²]

$S \cos \alpha$ = Superficie aparente, en metros² [m²].

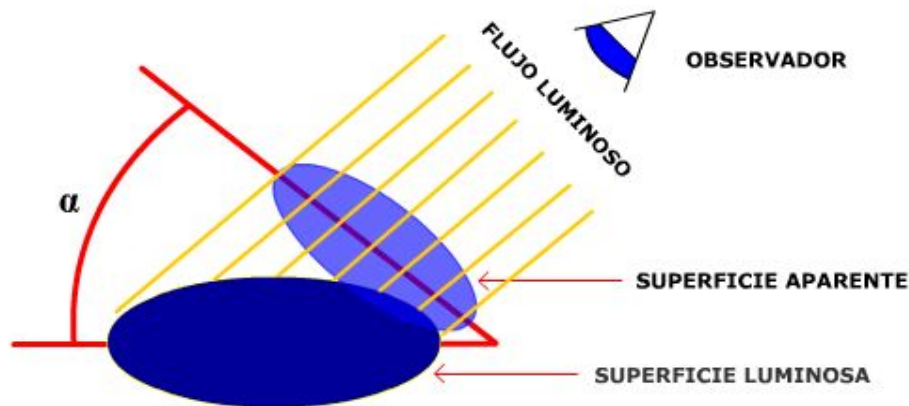


Figura A1.12 Luminancia

Unidad

Sus unidades de medida en el Sistema Internacional de Unidades son candelas /metro² [Cd/m²].

A1.2.7 Ley de la inversa del cuadrado de la distancia

Ley general

La ley de la inversa del cuadrado de la distancia o ley cuadrática inversa refiere a algunos fenómenos físicos cuya intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia al centro donde se originan. En particular, se refiere a fenómenos ondulatorios (sonido y luz) y campos centrales.

Ley particular para iluminación

Para una fuente luminosa, las iluminancias en diferentes superficies situadas perpendicularmente a la dirección de la radiación son directamente proporcionales a la intensidad luminosa de la fuente e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

Ley matemática

La ley de la inversa del cuadrado de la distancia, para el área de la iluminación, queda resumida por la ecuación:

$$E = \frac{I}{D^2}$$

Donde:

E= Iluminancia, dada en luxes [lx].

I= Intensidad luminosa, dada en candelas [cd].

D= Distancia que separa a la fuente luminosa y la superficie de estudio.

Ejemplo

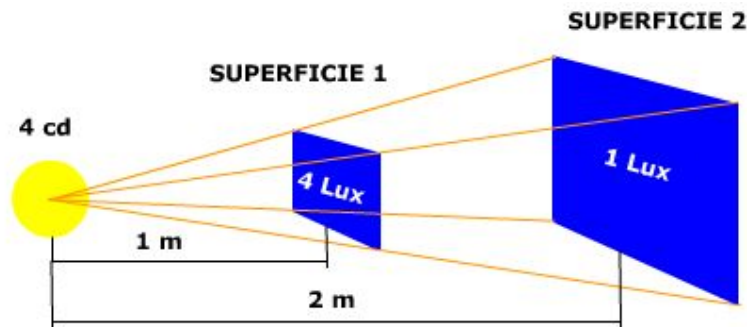


Figura A1.13 Ejemplo la ley de la inversa del cuadrado de la distancia

Para la superficie 1:

$$E = \frac{I}{D^2} = \frac{4[cd]}{1^2[m^2]} = 4[lx]$$

Para la superficie 2:

$$E = \frac{I}{D^2} = \frac{4[cd]}{2^2[m^2]} = 1[lx]$$

A1.2.8 Temperatura de color

La temperatura de color es un parámetro para describir el color de luz que emite una fuente luminosa.

Definición

La temperatura de color de una fuente de luz se determina comparando su color dentro del espectro luminoso con la luz que emitiría un "cuerpo negro" calentado a una temperatura determinada.

Unidad

La temperatura de color se mide en Kelvins, los cuales se designan por la letra [K], a pesar de no ser precisamente una medida de temperatura si no de color.

Gráfica

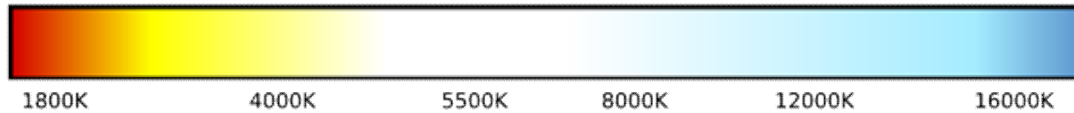


Figura A1.14 Gráfica de valores de temperatura de color

De acuerdo con la gráfica anterior podemos deducir que mientras más alta es la temperatura del cuerpo negro más grande se vuelve el componente azul y más pequeño el componente rojo de la luz que emite, por lo que:

Sí se dice que una fuente de luz (una lámpara) tiene una temperatura de color alta debemos comprender que la luz de dicha lámpara tendrá una tonalidad azul, mientras que si se dice que la temperatura de color es baja entenderemos que la tonalidad de la luz es roja.



Figura A1.15 Temperaturas de color en escala Kelvin

A1.2.9 Índice de rendimiento de color (IRC)

Básicamente, la luz artificial debería posibilitar al ojo humano a percibir los colores correctamente, al igual que lo hace la luz solar.

Definición de rendimiento de color

Es la capacidad de una fuente de luz en reproducir los colores.

Definición de índice de rendimiento de color (IRC)

Es una medida de la correspondencia que existe entre el color que posee un objeto en sí mismo y su apariencia bajo una fuente de luz.

En otras palabras, el IRC nos indica con que calidad una fuente de luz reproduce los colores.

Unidad

El IRC se mide en un porcentaje donde el 100% lo da la luz natural de sol. Las lámparas de filamento (incandescentes e incandescentes halógenas) tienen una reproducción del 100% ya que su espectro de emisión es continuo.

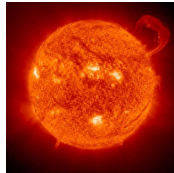


Figura A1.16 Sol: valor de referencia para el IRC

Aplicación

El IRC es un parámetro importante que se debe considerar cuando se desea iluminar cierta área, ya que dependiendo de las actividades que se realizan en dicha área se requiere que el sistema de iluminación presente un IRC mínimo.

IRC MÍNIMO	APLICACIÓN
IRC \geq 85%	Industrias, tiendas, hoteles, restaurantes etc. (buena discriminación cromática).
70% \leq IRC $<$ 85%	Oficinas, escuelas, grandes almacenes (aceptable discriminación cromática).
IRC $<$ 70%	Alumbrado de interiores donde no se haga preciso una buena discriminación cromática

Tabla A1.2 IRC

A1.2.10 Eficacia luminosa

Definición

La eficacia luminosa se define como el cociente entre el flujo luminoso que emite una fuente de luz y la potencia eléctrica que se le suministra a dicha fuente. En otras palabras, la eficacia luminosa nos indica la cantidad de luz que nos proporciona una fuente por cada unidad de potencia eléctrica que se le suministra.

Unidad

Su unidad de medida son lúmenes por watt [lm/w].

Definición matemática

$$Ef = \frac{\phi[lm]}{p[W]}$$

Donde:

Ef = Eficacia luminosa medida en lúmenes por watt [lm/W].

ϕ = Flujo luminoso, en lúmenes [lm].

p = Potencia eléctrica suministrada a la fuente de luz, medida en Watts [W].

Máxima eficacia

En teoría, la máxima eficacia que puede ser alcanzada, transformando toda la energía en luz visible, es 683 [lm/W].

$$1[W] = 683[lm] \Rightarrow Ef_{MÁXIMA} = 683[lm/W]$$

A1.2.11 Eficiencia

La palabra *eficiencia* proviene del latín *efficientia* que en español quiere decir, acción, fuerza, producción.

Definición

La eficiencia de una lámpara se define como la relación de la potencia lumínica que irradia (P_{SALIDA}) entre la potencia eléctrica que se le suministra ($P_{ENTRADA}$).

En general, la eficiencia se designa por la letra griega η .

Definición matemática

$$\eta = \frac{P_{SALIDA}}{P_{ENTRADA}} \times 100\%$$

ANEXO 2 NOM-025-STPS-2008

SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL

NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

Niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas 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 1.

Tabla 1
Niveles de iluminación

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Area 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 paillería.	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

ANEXO 3 ACRÓNIMOS, SIGLAS Y UNIDADES

A3.1 LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

ATPAE:	Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética
CEE:	Coeficiente Eléctrico de Emisión de Gases de Efecto Invernadero
CFL:	Compact Fluorescent Lamp
CU:	Coeficiente de utilización
DID:	Departamento de Investigación y Desarrollo
DSA:	Departamento de Servicios Académicos
DSC:	Departamento de Seguridad en Cómputo
FB:	Factor de Balastro
FI:	Facultad de Ingeniería
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
IESNA:	Illuminating Engineering Society of North America
NOM:	Norma Oficial Mexicana
UNAM:	Universidad Nacional Autónoma de México
UNICA:	Unidad de Servicios de Cómputo Académico

A3.2 LISTA DE UNIDADES

A:	Ampere
cd:	Candela
Hz:	Hertz
K:	Kelvin
kW:	Kilo Watts
lm:	Lumen
lx:	Lux
m:	Metro
mm:	Milímetro
MWh:	Mega Watts Hora
PU:	Por Unidad
V:	Volt
VA:	Volt Ampere
VAR:	Volt Ampere Reactivos
W:	Watt

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN.....	1
Figura 1: Sistema de iluminación.....	1
OBJETIVO.....	2
CAPÍTULO 1: SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	4
Figura 1.1: Esquema de una lámpara.....	5
Figura 1.2: Ley Planck.....	6
Figura 1.3: Clasificación de lámparas.....	8
Figura 1.4 Tipo de lámparas.....	8
Figura 1.5: Lámpara incandescente convencional.....	9
Figura 1.6: Thomas Alva Edison.....	9
Figura 1.7: Lámpara incandescente convencional (componentes).....	11
Figura 1.8: Lámpara incandescente halógena.....	13
Figura 1.9: Clasificación de las lámparas de descarga en atmósfera gaseosa.....	14
Figura 1.10: Lámparas fluorescentes.....	15
Figura 1.11: Componentes de las lámparas fluorescentes.....	16
Figura 1.12: Lámparas Fluorescentes Compactas (CFLs).....	19
Figura 1.13: Lámparas Fluorescentes Compactas (CFLs).....	19
Figura 1.14: CFL-Sistemas integrales.....	20
Figura 1.15: CFL-Sistemas modulares.....	20
Figura 1.16: CFL-Sistemas dedicados.....	20
Figura 1.17: Componentes de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión.....	21
Figura 1.18: Lámpara de vapor de sodio a baja presión.....	27
Figura 1.19: Lámpara de vapor de sodio a baja presión (componentes).....	28
Figura 1.20: Lámparas de vapor de sodio a alta presión.....	30
Figura 1.21: Ejemplos de aplicación de los Leds.....	31
Figura 1.23: Esquema de un LED de potencia.....	32
Figura 1.24: Balastros.....	33
Figura 1.25: Luminarios.....	40
CAPÍTULO 2: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	48
Figura 2.1: Sistema de iluminación general.....	49
Figura 2.2: Sistema de iluminación general localizada.....	50
Figura 2.3: Sistema de iluminación localizada.....	50
Figura 2.4: Parámetros arquitectónicos para el cálculo de iluminación.....	51
Figura 2.5: Cavity del techo, cavity del local y cavity del piso.....	56
Figura 2.6: Cavity del techo, cavity del local y cavity del piso.....	60
Figura 2.7: Dimensiones de un local.....	61
Figura 2.8: Cálculo de las relaciones de cavity.....	62
Figura 2.9: Tipos de iluminación.....	64
Figura 2.10: Iluminancia directa.....	65
Figura 2.11: Software de iluminación (esquema).....	68
CAPÍTULO 3: ILUMINACIÓN ACTUAL EN UNICA (CASO BASE).....	69

Figura 3.1: Croquis general de Ciudad Universitaria.....	70
Figura 3.2: Croquis general de la Facultad de Ingeniería.....	70
Figura 3.3: Croquis general de ubicación.....	71
Figura 3.4: Plano general de UNICA (Dimensiones).....	72
Figura 3.5: Plano general de UNICA (Ubicación de los luminarios).....	73
Figura 3.6: Cubículo Web (Dimensiones).....	74
Figura 3.7: Cubículo Web (Ubicación de los luminarios).....	74
Figura 3.8: Cubículo general de becarios (Dimensiones).....	75
Figura 3.9: Cubículo general de becarios (Ubicación de los luminarios).....	75
Figura 3.10: Cubículo del DSC (Dimensiones).....	76
Figura 3.11: Cubículo del DSC (ubicación de los luminarios).....	76
Figura 3.12: Cubículo del DSA (Dimensiones).....	77
Figura 3.13: Cubículo del DSA (ubicación de los luminarios).....	77
Figura 3.14: Cubículo del DID (Dimensiones).....	78
Figura 3.15: Cubículo del DID (ubicación de los luminarios).....	78
Figura 3.16: Vista lateral general.....	79
Figura 3.17: Techo falso.....	80
Figura 3.18: Apagador de pared.....	84
Figura 3.19: Dimensiones de los luminarios.....	84
Figura 3.20: Simbología y dimensiones de los luminarios.....	85
Figura 3.21: Croquis con la ubicación de los luminarios.....	86
Figura 3.22: Niveles de iluminación en los cubículos de UNICA.....	88
Figura 3.23: Niveles de iluminación en los cubículos de UNICA.....	89
Figura 3.24: Niveles de iluminación en los cubículos de UNICA.....	89
Figura 3.25: Nivel de iluminación en el área WEB.....	90
Figura 3.26: Nivel de iluminación en el cubículo principal de becarios.....	91
Figura 3.27: Nivel de iluminación DSC.....	92
Figura 3.28: Nivel de iluminación DSA.....	93
Figura 3.29: Nivel de iluminación DID.....	94
Figura 3.30: Triangulo de potencias (Sistema de iluminación actual).....	100
Figura 3.31: Eficacia de un sistema de iluminación.....	101
Figura 3.32: Eficiencia del sistema de iluminación actual de UNICA.....	105
CAPÍTULO 4: SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO PARA UNICA....	113
Figura 4.1: Características que debe cumplir un sistema de iluminación óptimo y eficiente.....	113
Figura 4.2: Características del sistema de iluminación propuesto para UNICA.....	115
Figura 4.3: Dimensiones de los módulos del plafón propuesto.....	116
Figura 4.4: Ejemplos de plafón instalado.....	116
Figura 4.5: Vista lateral general.....	117
Figura 4.6: Croquis de ubicación del plafón.....	118
Figura 4.7: Apagador.....	121
Figura 4.8: Plano de apagadores del sistema de iluminación propuesto.....	121
Figura 4.9: Luminario propuesto.....	122
Figura 4.10: Dimensiones del luminario propuesto.....	122
Figura 4.11: Croquis con la ubicación propuesta de los luminarios.....	123
Figura 4.12: CUBO GENERAL (Plano de localización de luminarios).....	124
Figura 4.13: WEB (Plano de localización de luminarios).....	125
Figura 4.14: DSC (Plano de localización de luminarios).....	125
Figura 4.15: DSA (Plano de localización de luminarios).....	126
Figura 4.16: DID (Plano de localización de luminarios).....	126
Figura 4.17: Calidad de un sistema de iluminación.....	127
Figura 4.18: Nivel de iluminación en el área WEB.....	128

Figura 4.19: Nivel de iluminación en el cubículo principal de becarios.....	129
Figura 4.20: Nivel de iluminación DSC.....	130
Figura 4.21: Nivel de iluminación DSA.....	131
Figura 4.22 Nivel de iluminación DID.....	132
Figura 4.23 Eficacia del sistema de iluminación.....	135
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	148
CONCLUSIONES.....	153
ANEXO 1: CONCEPTOS BÁSICOS.....	155
Figura A1.1: intensidad de corriente eléctrica.....	156
Figura A1.2: Voltaje (Diferencia de potencial o tensión).....	157
Figura A1.3: Conductor eléctrico.....	160
Figura A1.4: Simbología de un resistor.....	160
Figura A1.5: George Simon Ohm.....	161
Figura A1.6: Circuito eléctrico básico.....	161
Figura A1.7: Espectro electromagnético.....	163
Figura A1.8: Espectro electromagnético visible.....	163
Figura A1.9: Flujo luminoso.....	164
Figura A1.10: Candela.....	165
Figura A1.11: Lux.....	166
Figura A1.12: Luminancia.....	167
Figura A1.13: Ejemplo de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia.	168
Figura A1.14: Gráfica de valores de temperatura de color.....	169
Figura A1.15: Temperaturas de color en escala Kelvin.....	169
Figura A1.16: Sol: valor de referencia para el IRC.....	170
ANEXO 2: NOM-025-STPS-2008.....	172
ANEXO 3: ACRÓNIMOS, SIGLAS Y UNIDADES.....	173
ANEXO 4: ÍNDICE DE FIGURAS.....	174
ANEXO 5: ÍNDICE DE TABLAS.....	177
BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA.....	180

ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	2
CAPÍTULO 1: SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	4
Tabla 1.1: Características de las lámparas incandescentes convencionales.....	11
Tabla 1.2: Ventajas y desventajas de las lámparas incandescentes convencionales.....	11
Tabla 1.3: Características de las lámparas incandescentes halógenas.....	13
Tabla 1.4: Ventajas y desventajas de las lámparas incandescentes halógenas.....	13
Tabla 1.5: Tipos de casquillo para lámparas fluorescentes.....	17
Tabla 1.6: Características de las lámparas fluorescentes.....	18
Tabla 1.7: Ventajas y desventajas de las lámparas fluorescentes.....	18
Tabla 1.8: Características de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión.....	23
Tabla 1.9: Ventajas y desventajas de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión.....	23
Tabla 1.10: Características de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión de luz mixta.....	24
Tabla 1.11: Ventajas y desventajas de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión de luz mixta.....	24
Tabla 1.12: Características de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión de aditivos metálicos.....	26
Tabla 1.13: Ventajas y desventajas de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión de aditivos metálicos.....	26
Tabla 1.14: Características de las lámparas de vapor de sodio baja presión.....	29
Tabla 1.15: Ventajas y desventajas de las lámparas de vapor de sodio a baja presión.....	29
Tabla 1.16: Características de las lámparas de vapor de sodio a alta presión.....	30
Tabla 1.17: Ventajas y desventajas de las lámparas de vapor de sodio a alta presión.....	30
Tabla 1.18: Clasificación de los luminarios (De acuerdo a la distribución del flujo luminoso).....	41
Tabla 1.19: Clasificación de los luminarios (De acuerdo a la geometría de la distribución del flujo luminoso).....	42
Tabla 1.20: Clasificación de los luminarios (De acuerdo con el ángulo de apertura del haz).....	43
CAPÍTULO 2: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	48
Tabla 2.1: Ecuaciones básicas del método cavidad zonal.....	59
Tabla 2.2: Área de paredes, suelo y techo.....	61
Tabla 2.3: Fórmula general para el cálculo de las relaciones de	

	cavidad.....	61
Tabla 2.4:	Fórmula general para el cálculo de las relaciones de cavidad (con factor de corrección).....	62
Tabla 2.5:	Ecuaciones para cada una de las relaciones de cavidad.....	62
Tabla 2.6:	Ecuaciones para el cálculo de iluminación directa.....	66
Tabla 2.7:	Ecuaciones para el cálculo de iluminación indirecta.....	67
Tabla 2.8:	Definición de los componentes de la ecuación para el cálculo de iluminación indirecta.....	67

CAPÍTULO 3: ILUMINACIÓN ACTUAL EN UNICA (CASO BASE).....69

Tabla 3.1:	Dimensiones generales de los cubículos de UNICA.....	79
Tabla 3.2:	Alturas de los cubículos de UNICA.....	79
Tabla 3.3:	Coeficientes de reflexión.....	80
Tabla 3.4:	Especificación de la lámpara del subsistema 1.....	81
Tabla 3.5:	Especificación del balastro del subsistema 1.....	81
Tabla 3.6:	Especificación de la lámpara del subsistema 2.....	82
Tabla 3.7:	Especificación del balastro del subsistema 2.....	82
Tabla 3.8:	Especificación de la lámpara del subsistema 3.....	83
Tabla 3.9:	Especificación del balastro del subsistema 3.....	83
Tabla 3.10:	Resumen de los subsistemas del sistema de iluminación.....	85
Tabla 3.11:	Nivel de iluminación en el área WEB.....	90
Tabla 3.12:	Nivel de iluminación en el cubículo principal de becarios.....	91
Tabla 3.13:	Nivel de iluminación DSC.....	92
Tabla 3.14:	Nivel de iluminación DSA.....	93
Tabla 3.15:	Nivel de iluminación DID.....	94
Tabla 3.16:	Calidad de la uniformidad (Tomando como referencia Um).	95
Tabla 3.17:	Calidad de la uniformidad de las oficinas de UNICA (Tomando como referencia Um).....	95
Tabla 3.18:	Nivel de iluminación en UNICA.....	96
Tabla 3.19:	Carga eléctrica conectada del sistema de iluminación (Potencia activa).....	99
Tabla 3.20:	Potencia activa, reactiva y aparente (Sistema de iluminación actual).....	100
Tabla 3.21:	Flujo luminoso del sistema de iluminación actual de UNICA.....	102
Tabla 3.22:	Potencia del sistema de iluminación actual de UNICA.....	103
Tabla 3.23:	Horario de trabajo de UNICA.....	107
Tabla 3.24:	Distribución de las horas de uso del sistema de iluminación de UNICA en el año 2008.....	107
Tabla 3.25:	Energía consumida por el sistema de iluminación de UNICA durante un año.....	108
Tabla 3.26:	Costo de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación de UNICA durante un año.....	109
Tabla 3.27:	Lámparas del sistema de iluminación actual.....	110
Tabla 3.28:	Lámparas a reemplazar anualmente.....	110
Tabla 3.29:	Costo anual de las lámparas a reemplazar.....	111

CAPÍTULO 4: SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO PARA UNICA.....113

Tabla 4.1:	Características del plafón propuesto.....	116
Tabla 4.2:	Dimensiones generales de los cubículos de UNICA.....	117
Tabla 4.3:	Alturas de los cubículos de UNICA.....	117
Tabla 4.4:	Coeficientes de reflexión.....	118

Tabla 4.5:	Especificaciones de la lámpara propuesta.....	119
Tabla 4.6:	Especificaciones del balastro propuesto.....	120
Tabla 4.7:	Especificaciones del luminario propuesto.....	122
Tabla 4.8:	Calidad de la uniformidad (Tomando como referencia Um),	127
Tabla 4.9:	Nivel de iluminación en el área WEB.....	128
Tabla 4.10:	Nivel de iluminación en el cubículo principal de becarios.....	129
Tabla 4.11:	Nivel de iluminación DSC.....	130
Tabla 4.12:	Nivel de iluminación DSA.....	131
Tabla 4.13:	Nivel de iluminación DID.....	132
Tabla 4.14:	Carga eléctrica conectada del sistema de iluminación propuesto(Potencia activa).....	133
Tabla 4.15:	Potencia activa, reactiva y aparente del sistema de iluminación propuesto.....	134
Tabla 4.16:	Flujo luminoso del sistema de iluminación propuesto.....	136
Tabla 4.17:	Costo de inversión para el plafón (Precio en pesos mexicanos).....	140
Tabla 4.18:	Costo de inversión para el equipo del sistema de iluminación propuesto (Precio en pesos mexicanos).....	141
Tabla 4.19:	Horario de trabajo de UNICA.....	142
Tabla 4.20:	Distribución de las horas de uso del sistema de iluminación de UNICA (año 2008).....	143
Tabla 4.21:	Energía consumida anualmente por el sistema de iluminación propuesto para UNICA (proyección).....	144
Tabla 4.22:	Costo de la energía eléctrica consumida anualmente por el sistema de iluminación propuesto para UNICA (proyección).....	145
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		148
CONCLUSIONES.....		153
ANEXO 1: CONCEPTOS BÁSICOS.....		155
Tabla A1.1:	Espectro electromagnético.....	162
Tabla A1.2:	IRC.....	170
ANEXO 2: NOM-025-STPS-2008.....		172
Tabla 1:	Niveles de iluminación.....	172
ANEXO 3: ACRÓNIMOS, SIGLAS Y UNIDADES.....		173
ANEXO 4: ÍNDICE DE FIGURAS.....		174
ANEXO 5: ÍNDICE DE TABLAS.....		177
BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA.....		180

BILIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Martín, Franco, "*Manual práctico de iluminación*", Primera edición, Amv ediciones, Madrid, 2005.

Aguilar Rico, Mariano, "*Iluminación y color*", Servicio de publicaciones.

Déribéré, M., "*Técnica del alumbrado*", Paraninfo, Madrid, 1967.

Philips, "*Manual de alumbrado*", Paraninfo, Madrid, 1988.

Clerici, Carlo, "*Luminotecnia*", Ediciones técnicas Rede, Barcelona, 1966.

Fernández Salazar, Luis, "*Técnicas y aplicaciones de la iluminación*", McGraw-Hill, España, 1992.

Ramírez Rivero, Alex, "*Introducción al ahorro de energía en sistemas de iluminación interior*", México, 2004.

Lithonia Lighting, Catálogo de Productos, 2ª edición.

OSRAM, "*Catálogo general*", 2006.

MESOGRAFÍA

http://www.osram.com.mx/osram_mx/

<http://www.philips.com.mx/>

<http://www.lithonia.com/>

<http://www.construlita.com.mx/>

<http://www.holophane.com.mx/>

<http://www.cfe.gob.mx/es/>

<http://www.lfc.gob.mx/>

<http://www.isbmex.com/>