

# Iluminación

## Tutorial para el trabajo en campo



**giz**

por encargo de



Ministerio Federal de  
Cooperación Económica  
y Desarrollo



México, D.F., Julio del 2015

El Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica, A.C. (COMPITE) agradece a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por la colaboración y asistencia técnica en la elaboración del presente documento. La colaboración de la GIZ se realizó bajo el marco del “Human Capacity Development” el cual se implementa por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del/ de los autor/es y no necesariamente representan la opinión de COMPITE y/o de la GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

Instituciones editoras por ej.: GIZ  
Iluminación – Tutorial para el trabajo en campo, México, D.F., julio de 2015

Edición y Supervisión: GIZ  
Autor: Tecener SA de CV  
Diseño: GIZ Mexico  
Foto portada: [www.osram-latam.com](http://www.osram-latam.com)

Impreso en México

© El Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica, A.C. (COMPITE)  
Manuel María Contreras 133 p7,  
Col. Cuauhtémoc, Del. Cuauhtémoc  
C.P. 06500, México D.F.  
T +52 55 5322 0700  
E [promocion@compite.org.mx](mailto:promocion@compite.org.mx)  
I <http://www.compite.org.mx/>

© Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5  
65760 Eschborn/Alemania  
[www.giz.de](http://www.giz.de)

Oficina de Representación de la GIZ en México  
Torre Hemicor, Piso 11  
Av. Insurgentes Sur No. 826  
Col. Del Valle, Del. Benito Juárez  
C.P. 03100, México, D.F.  
T +52 55 55 36 23 44  
F +52 55 55 36 23 44  
E [giz-mexiko@giz.de](mailto:giz-mexiko@giz.de)  
I [www.giz.de](http://www.giz.de) / [www.gtz.de/mexico](http://www.gtz.de/mexico)



## Tabla de contenido

<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>12</b>
<b>1 Objetivo y alcance .....</b>	<b>14</b>
<b>2 Conceptos generales.....</b>	<b>15</b>
2.1 Definiciones.....	15
2.1.1 Consumo de energía .....	15
2.1.2 Carga total conectada para alumbrado.....	15
2.1.3 Factor de potencia.....	15
2.1.4 Flujo luminoso .....	15
2.1.5 Eficacia luminosa o rendimiento luminoso .....	16
2.1.6 Nivel de iluminación.....	16
2.1.7 Índice de Rendimiento de Color (IRC) .....	17
2.1.8 Temperatura de color .....	17
2.1.9 Factor de uso .....	18
2.1.10 Vida útil y vida media.....	19
2.1.11 Factor de mantenimiento .....	19
2.1.12 Código IK .....	19
2.1.13 Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) .....	20
2.1.14 Reflectancia.....	20
2.2 Tipo de iluminación .....	20
2.2.1 Iluminación directa.....	20
2.2.2 Iluminación indirecta.....	21
2.2.3 Iluminación mixta.....	21
2.3 Reglas básicas de diseño.....	22
2.3.1 Iluminación de puestos de trabajo .....	23
2.3.2 Alumbrado industrial.....	24
2.3.3 Alumbrado de establecimientos comerciales .....	25
<b>3 Tipos de lámparas .....</b>	<b>27</b>
3.1 Lámparas incandescentes.....	27
3.1.1 Lámparas de filamento .....	27
3.1.2 Lámparas halógenas .....	28
3.3 Lámpara de descarga .....	30
3.3.1 Lámparas fluorescentes .....	30
3.3.2 Lámparas fluocompactas.....	32

3.3.3	Lámpara fluorescente de inducción magnética.....	33
3.3.4	Lámpara de aditivos metálicos .....	34
3.3.5	Lámpara de vapor de sodio a alta presión.....	35
3.3.6	Lámparas de vapor de sodio a baja presión .....	36
3.3.8	Lámparas de vapor de mercurio a alta presión.....	37
3.4	Lámparas LED .....	37
3.5	Tabla recapitulativa .....	39
<b>4</b>	<b>Componentes y control de sistemas de iluminación .....</b>	<b>42</b>
4.1	Componentes de una luminaria.....	42
4.1.1	Equipos auxiliares .....	42
4.1.2	Starter/arrancador .....	43
4.1.3	Balastos .....	43
4.1.4	Reflector.....	45
4.1.5	Difusor.....	45
4.2	Equipos de control.....	46
4.2.1	Alumbrado interior .....	46
4.2.2	Alumbrado exterior .....	46
<b>5</b>	<b>Como realizar el levantamiento técnico en campo.....</b>	<b>47</b>
5.1	Características del edificio.....	47
5.1.1	Uso y actividades realizadas .....	47
5.1.2	Características de los espacios .....	47
5.2	Equipos instalados .....	48
5.3	Confort visual .....	48
5.4	Mantenimiento.....	50
5.4.1	Al sistema de iluminación .....	50
5.4.2	A las áreas iluminadas .....	50
5.5	Horarios de funcionamiento.....	51
5.6	Gestión operativa .....	51
5.7	Criterios de eficiencia energética.....	51
<b>6</b>	<b>Formato de recopilación de datos .....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Medidas de Ahorro de Energía.....</b>	<b>57</b>
7.1	Mejora de los niveles de iluminación .....	57
7.1.1	Luz natural .....	57
7.1.3	Color de paredes.....	59

7.2	Mejora de la gestión y del control operativo .....	59
7.2.1	Sensibilización de los ocupantes .....	59
7.2.2	Seccionamiento de circuitos .....	60
7.2.3	Gestión horaria .....	60
7.2.4	Detector de presencia .....	60
7.2.5	Fotoceldas.....	61
7.3	Mantenimiento adecuado .....	62
7.3.1	Disminución del rendimiento.....	62
7.3.2	Programa de mantenimiento .....	63
7.3.3	Limpieza de luminarias y áreas .....	64
7.4	Sustitución tecnológica.....	64
7.4.1	Renovación parcial o renovación completa .....	64
7.4.2	Reemplazo de lámparas.....	65
7.4.3	Reemplazar los balastos electromagnéticos .....	67
7.4.4	Reemplazar los reflectores de la luminaria .....	68
7.5	Resumen.....	70
<b>8</b>	<b>Ejemplos.....</b>	<b>73</b>
8.1	Retrofit de tubos fluorescentes .....	73
8.2	Retrofit de lámpara incandescente según potencia .....	76
8.3	Renovación completa de luminarias.....	78
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>80</b>
	<b>Anexo 1 Niveles de iluminación NOM-025-STPS-2008 .....</b>	<b>81</b>
	<b>Anexo 2 Tablas de eficiencia NOM-007-ENER-2014.....</b>	<b>83</b>
	<b>Anexo 3 Sello FIDE.....</b>	<b>88</b>

### Lista de Tablas

Tabla 1 Rangos del IRC .....	17
Tabla 2 Rangos de temperatura de color .....	18
Tabla 3 Valores de IK.....	19
Tabla 4 Ventajas e inconvenientes - Lámparas de filamento .....	28
Tabla 5 Ventajas e inconvenientes - Lámparas halógenas.....	29
Tabla 6 Ventajas e inconvenientes - Tubos fluorescentes .....	31
Tabla 7 Ventajas e inconvenientes – Lámparas fluocompactas.....	33
Tabla 8 Ventajas e inconvenientes – Lámparas fluocompactas.....	34
Tabla 9 Ventajas e inconvenientes – Lámparas de aditivos metálicos.....	35
Tabla 10 Ventajas e inconvenientes – Lámparas de vapor de sodio a alta presión .....	36
Tabla 11 Ventajas e inconvenientes – Lámparas de vapor de sodio a baja presión .....	36
Tabla 12 Ventajas e inconvenientes – Lámparas de vapor de mercurio a alta presión .....	37
Tabla 13 Ventajas e inconvenientes – Lámparas LED.....	38
Tabla 14 Resumen de características de lámparas .....	39
Tabla 15 Resumen comparativo T8, T5 y LED vs. T12.....	75
Tabla 16 Niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo .....	81
Tabla 17 Densidades de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) .....	84
Tabla 18 Valores de DPEA para diferentes espacios pertenecientes a diferentes tipos de edificios.....	85

### Lista de Figuras

Figura 1 Flujo luminoso (lm) .....	16
Figura 2 Rendimiento luminoso (lm/W).....	16
Figura 3 Nivel de iluminación (lux).....	16
Figura 4 Valores del IRC .....	17
Figura 5 Temperatura de color .....	18
Figura 6 Código IK .....	19
Figura 7 Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado.....	20
Figura 8 Iluminación directa .....	20
Figura 9 Iluminación indirecta.....	21

Figura 10 Iluminación mixta.....	22
Figura 11 Iluminación con 2 componentes .....	22
Figura 12 Control del ingreso de la luz natural .....	23
Figura 13 Iluminación en puestos de trabajo .....	24
Figura 14 Alumbrado de nave industrial .....	24
Figura 15 Iluminación de apoyo tipo 1 .....	25
Figura 16 Iluminación de apoyo tipo 2.....	25
Figura 17 Sombra incómoda .....	25
Figura 18 Iluminación ineficiente en supermercado.....	26
Figura 19 Iluminación eficiente en supermercado.....	26
Figura 20 Modelos de lámparas incandescentes de filamento.....	27
Figura 21 Modelos de lámparas incandescentes halógenas .....	29
Figura 22 Principio de la lámpara de descarga.....	30
Figura 23 Starter .....	30
Figura 24 Balastro .....	30
Figura 25 Condensador.....	30
Figura 26 Tubo fluorescentes T8.....	31
Figura 27 Tubo fluorescentes T5.....	31
Figura 28 Comparativo T12, T8 y T5.....	31
Figura 29 Modelos de lámparas fluocompactas .....	32
Figura 30 Modelos de lámparas de inducción magnética .....	33
Figura 31 Lámpara de aditivos metálicos .....	34
Figura 32 Lámpara de vapor de sodio a alta presión.....	35
Figura 33 Lámpara de vapor de sodio a baja presión.....	36
Figura 34 Lámpara de vapor de mercurio a alta presión.....	37
Figura 35 Lámparas LED .....	38
Figura 37 Equipos auxiliares de lámparas de descarga.....	43
Figura 38 Starter .....	43
Figura 39 Balastro electromagnético .....	44
Figura 40 Balastro electrónico para tubo fluorescente.....	44
Figura 41 Balastro electrónico para lámpara de vapor de sodio a alta presión .....	44
Figura 42 Modelos de balastos para lámpara fluorescente .....	44
Figura 43 Modelos de luminarias con difusores.....	45
Figura 44 Rejilla reflectora.....	45

Figura 45 Difusor especular .....	45
Figura 46 Difusor de acrílico.....	45
Figura 47 Criterios de confort visual en oficinas .....	49
Figura 48 Criterios de confort visual en talleres.....	49
Figura 49 Criterios de confort visual en comercios .....	50
Figura 50 Criterios de eficiencia energética.....	51
Figura 51 Domos de luz natural.....	57
Figura 52 Domos de luz natural 2.....	57
Figura 53 Domos tubulares en industria .....	58
Figura 54 Domos tubulares en oficinas .....	58
Figura 55 Apoyo visual.....	59
Figura 56 Interruptor horario.....	60
Figura 57 Detectores de presencia.....	61
Figura 58 Fococeldas.....	62
Figura 59 Opciones de sustitución de lámparas incandescentes.....	65
Figura 60 Opciones de sustitución de lámparas halógenas.....	66
Figura 61 Opciones de sustitución de tubos fluorescentes .....	66
Figura 62 Sustitución de lámpara de vapor de sodio por aditivos metálicos .....	67
Figura 63 Ahorro de energía por dimming .....	68
Figura 64 Comparativo con o sin reflector .....	68
Figura 65 Ausencia de reflector (pérdidas = 50%) .....	69
Figura 66 Reflector pintado de blanco (pérdidas = 50%).....	69
Figura 67 Difusor con micro rejilla (pérdidas = 75%) .....	69
Figura 68 Difusor prismático (pérdidas = 60%) .....	69
Figura 69 Difusor color opalino (pérdidas = 70%) .....	69
Figura 70 Luminaria indirecta (pérdidas = 50%) .....	69

### Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Consumo de energía .....	15
Ecuación 2 Nivel de iluminación .....	16
Ecuación 3 Potencia de luminaria con balastro .....	48
Ecuación 4 Conteo de lámparas.....	48
Ecuación 5 Ahorro en potencia (W).....	58

Ecuación 6 Ahorro en energía (Wh) ..... 58

### **Listado de Abreviaturas**

CFE	Comisión Federal de Electricidad
IE	Índice Energético
LIE	Ley de Industria Eléctrica
MiPyMES	Micro, Pequeñas y Medianas Empresas
PyMES	Pequeñas y Medianas Empresas
TEE	Taller de Eficiencia Energética

## **Resumen Ejecutivo**

### Antecedentes:

En el marco del Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Fortalecimiento del Sector Privado para la Mitigación del Cambio Climático, diversas actividades se desarrollaron durante 2012 y 2013, a fin de formar consultores en eficiencia energética para brindar estos servicios al sector PyME. Como resultado de esta etapa de formación, COMPITE como organización que conduce estas actividades en México, ha desarrollado un nuevo producto de asistencia a las PyMEs basado en un Taller de Eficiencia Energética (TEE) que tiene como objetivo reducir los costos de la operación y de la energía al efficientar el uso de la misma, a través de mejores métodos de proceso y de trabajo.

Para apoyar este nuevo producto en el mercado, se llevaron a cabo experiencias piloto de implementación. Con base en la retroalimentación obtenida de esta primera fase de prueba, se prevé reforzar la capacitación brindada a los consultores de COMPITE a través de tutoriales. El presente material podrá ser utilizado por los consultores de COMPITE para fortalecer la metodología del Taller de Eficiencia Energética.

### Objetivo y alcance:

Este tutorial sirve de herramienta para los consultores de COMPITE en el desarrollo de los Talleres de Eficiencia Energética, en particular para conocer los conceptos básicos de iluminación, los diferentes tipos de tecnologías y ser capaces de identificar las oportunidades de ahorro de energía.

### Metodología:

Para elaborar el presente documento, se realizó en primera instancia una reunión con los consultores de COMPITE, con el objetivo de entender el contexto de ejecución de los Talleres de Eficiencia Energética, sus conocimientos en relación a la temática desarrollada y sobre todo sus expectativas en cuanto al contenido del tutorial. Posteriormente, se desarrollaron la guía del contenido del documento y el índice del documento, tomando en cuenta el material existente así como las peticiones de los consultores de COMPITE. Finalmente, se investigó en diferentes fuentes de información electrónica e impresa los contenidos faltantes por desarrollar.

### Estructura del documento:

Este documento se divide en una primera parte teórica sobre los conceptos generales de la iluminación, empezando con las definiciones, los tipos de iluminación y unas reglas básicas de diseño de alumbrado. Luego se centra sobre la explicación de los diferentes tipos de lámparas así como los componentes de las luminarias y los sistemas de control asociado. En base a esta

información teórica, se explican los elementos que se deben observar y analizar de los sistemas de alumbrado de las PyMEs que visitan los consultores. A partir de estos datos, se clasifican las medidas de ahorro de energía a proponer y se estima su rentabilidad.

Resultados clave:

Con este tutorial, los consultores de COMPITE tienen una herramienta que les da una metodología para identificar, analizar y calcular las medidas de ahorros de energía relacionadas con el sistema de iluminación de una PyME.

Conclusiones y recomendaciones:

Esta herramienta refuerza los conocimientos de los consultores de COMPITE en cuanto a los sistemas de iluminación y les permite identificar rápidamente las oportunidades de ahorro de energía durante los Talleres de Eficiencia Energética con la PyME.

## **1 Objetivo y alcance**

Todas las actividades que hacemos en nuestra vida cotidiana requieren de iluminación, por lo que adquiere una gran importancia en el consumo de energía eléctrica. En el sector de la iluminación, cambiando algunas de las conductas de los usuarios y realizando cambios tecnológicos simples, se pueden alcanzar ahorros importantes.

El dominar los conceptos básicos de iluminación y las diferentes tecnologías existentes hace de esta tarea algo muy accesible.

Este tutorial está dirigida a los consultores de COMPITE que realizan Talleres de Eficiencia Energética en Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs), de 1 a 100 empleados.

Tiene por objetivo desarrollar las herramientas necesarias para que los consultores:

- Conozcan los conceptos teóricos en relación a la iluminación (tipos de iluminación, fuentes de luz, los sistemas de control)
- Conozcan las reglas básicas de diseño de los sistemas de iluminación
- Sepan reconocer las diferentes luminarias y sus componentes y conozcan las principales características de cada uno
- Sean capaces de analizar los sistemas de iluminación de una PyME
- Identifiquen las oportunidades de ahorro asociadas a los sistemas de iluminación

Con el presente tutorial, el consultor podrá fácilmente identificar los elementos de los sistemas de iluminación instalados en la PyME, detectar las oportunidades existentes para implementar las mejores prácticas y medidas de eficiencia energética y, con las herramientas proporcionadas, determinar los ahorros energéticos, económicos y ambientales al interior de la PyME.

## 2 Conceptos generales

Con el fin de poder identificar y diferenciar las diversas tecnologías existentes en iluminación, es fundamental explicar, en un primer tiempo, los principales parámetros que intervienen en la selección y diseño de las instalaciones de iluminación. En efecto, la terminología empleada para cada característica es particular del sector.

Luego, se describirá en esta sección los tipos de iluminación y las fuentes de luz para terminar con los criterios básicos de diseño.

### 2.1 Definiciones

#### 2.1.1 Consumo de energía

Corresponde a la energía eléctrica consumida por el conjunto del sistema de iluminación. La unidad utilizada es el kilowatt hora (kWh):

**Ecuación 1 Consumo de energía**

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Horas de funcionamiento}$$

#### 2.1.2 Carga total conectada para alumbrado

Es la suma de la potencia en watts, de todas las luminarias y sistemas de iluminación permanentemente instalados dentro de un edificio, incluyendo la potencia del balastro.

#### 2.1.3 Factor de potencia

Corresponde a un factor indicativo que determina la cantidad real de potencia utilizada por el equipo frente a la potencia absorbida. No tiene unidad este concepto.

#### 2.1.4 Flujo luminoso

Determina la cantidad de luz emitida por la lámpara. Se expresa en lumen (lm). También, se encuentra, en el sistema inglés, en la unidad de candela, refiriéndose a la iluminación producida por una vela de material, tamaño y encendido específicos.

Figura 1 Flujo luminoso (lm)



### 2.1.5 Eficacia luminosa o rendimiento luminoso

Corresponde a la eficacia de la lámpara donde se analiza el flujo luminoso emitido sobre la cantidad de energía eléctrica consumida. Se expresa en lumen por watt (lm/W).

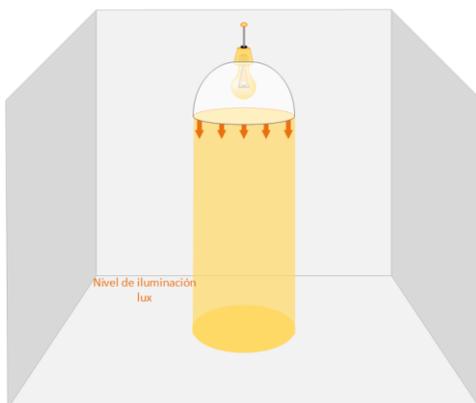
Figura 2 Rendimiento luminoso (lm/W)



### 2.1.6 Nivel de iluminación

Se trata de la relación de flujo luminoso que incide sobre un metro cuadrado de superficie iluminada a una distancia de 1 m. Por lo tanto, corresponde a lumen/m<sup>2</sup> y se expresa en lux. Haciendo la analogía con el sistema inglés, la unidad del nivel de iluminación corresponde a “candela-pie”, en donde 1 candela-pie es igual a 10.7 luxes.

Figura 3 Nivel de iluminación (lux)



Ecuación 2 Nivel de iluminación

$$Lux = \frac{Lumen}{m^2}$$

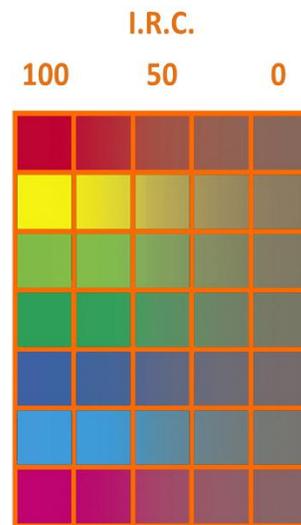
### 2.1.7 Índice de Rendimiento de Color (IRC)

Viene del nombre en inglés Color Render Index (CRI) y se traduce como Índice de Reproducción de Color. Se trata de una medida que cuantifica la capacidad de una fuente de luz en reproducir fielmente los colores de los objetos. Este índice se encuentra en un rango de 0 a 100, siendo el más alto el de mejor reproducción de los colores. La luz del sol y la de una lámpara incandescente tienen un IRC de 100.

Tabla 1 Rangos del IRC

Rango IRC	Percepción de los colores	Comentarios
80<IRC	elevada	Los colores se reproducen de forma eficiente. Debe utilizarse en lugares donde una pequeña variación en la tonalidad puede ser importante por motivos laborales o decorativos. El otro factor importante es la afluencia de personas en la zona a iluminar.
65<IRC <80	Buena	Ciertos colores pueden parecer a simple vista distorsionados. Se debe emplear en interiores donde no haya permanencia de personas.
IRC<60	Baja	Los colores no se aprecian con claridad. Estas lámparas, cuando tienen propiedades de rendimiento en color bastante aceptable, se usan en locales de trabajo donde la discriminación cromática no es demasiado importante.

Figura 4 Valores del IRC



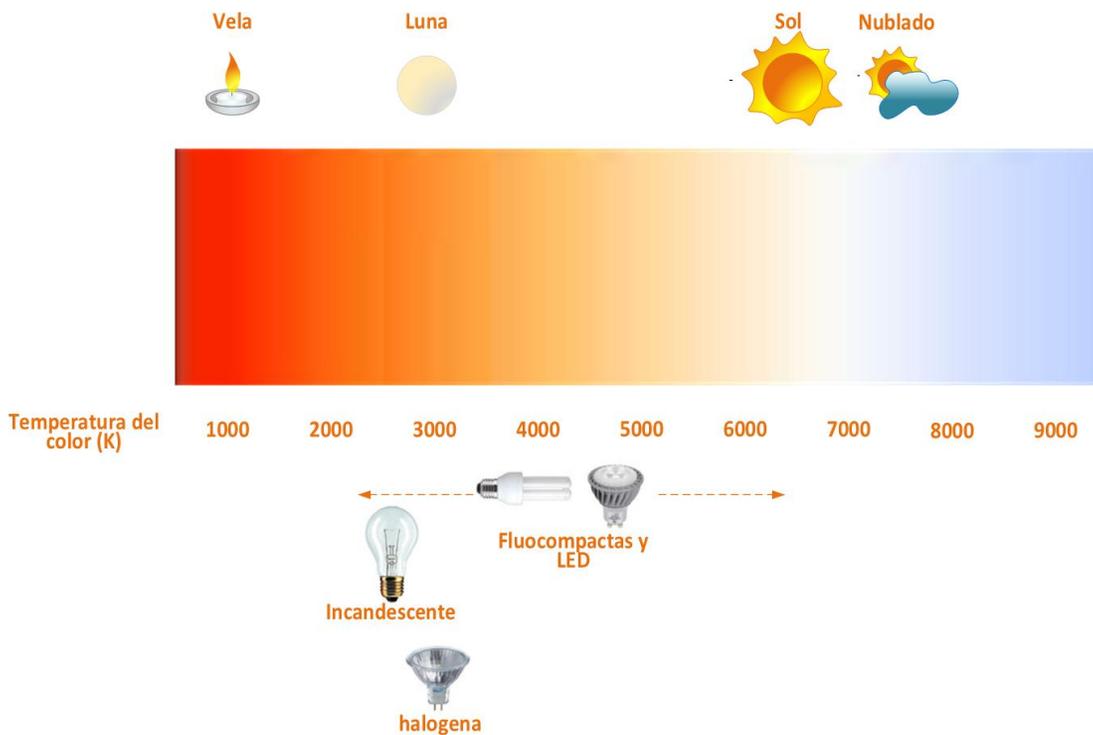
### 2.1.8 Temperatura de color

El color de la luz de ambiente tiene una influencia directa sobre el confort de una persona. Para poder medir y calificar ese color, se estableció un parámetro llamado temperatura de color el cual se expresa en Kelvin (K).

Tabla 2 Rangos de temperatura de color

Temperatura de color	Kelvin	Efecto y ambientes	Aplicaciones recomendadas
Cálido	2600 - 3400	Amigable, íntimo personal, exclusivo.	Restaurantes, lobbies, boutiques, tiendas de ropa, oficinas
Neutral	3500	Amigable invitante	Recepciones, salón de exposiciones, librerías, oficinas
Frío	3600 - 4900	Fresco, limpio, eficiente	Oficinas, salón de conferencias, escuelas, hospitales, tiendas comerciales, industrias
Luz de día	5000	Impersonal, dinámico, limpio	Joyerías, consultorios, hospitales, industrias

Figura 5 Temperatura de color



### 2.1.9 Factor de uso

Este parámetro mide la cantidad de luz que realmente llega a la zona que se quiere iluminar y considera el conjunto de lámpara y luminaria.

### 2.1.10 Vida útil y vida media

La vida media de un lote de lámparas corresponde al número de horas de funcionamiento hasta que 50% de los equipos se fundan.

La vida útil de una lámpara o lote de lámparas indica las horas de funcionamiento transcurridas, manteniendo sus características funcionales de origen en un 80%.

### 2.1.11 Factor de mantenimiento

La noción de mantenimiento es muy importante en la iluminación, ya que la luz emitida por una lámpara tiende a disminuir con el tiempo. Para tener en cuenta este aspecto, se introdujo la noción de factor de mantenimiento que considera la depreciación del flujo luminoso de una instalación. Este parámetro está ligado a 4 fenómenos de envejecimiento:

- La disminución del flujo de la lámpara
- La frecuencia de la falla de las lámparas
- La disminución del rendimiento de las luminarias (suciedad)
- Suciedad de la zona iluminada.

### 2.1.12 Código IK

Se trata de un índice de protección mecánica que indica el grado de resistencia de una luminaria a los impactos mecánicos. Este índice se sitúa en un rango de 0 a 10, siendo 0 el grado de menor resistencia a impactos.

Figura 6 Código IK

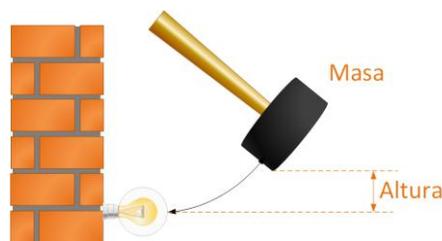


Tabla 3 Valores de IK

IK	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Impacto (Joule)	0.15 J	0.20 J	0.37 J	0.50 J	0.70 J	1.00 J	2.00 J	5.00 J	10.00 J	20.00 J
Masa	150 g	200 g	250 g	250 g	350 g	250 g	500 g	1000 g	2500 g	5000 g
Altura	10 cm.	10 cm	15 cm	20 cm	20 cm	40 cm.	40 cm	40 cm	40 cm	40 cm

### 2.1.13 Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA)

Es el índice de la carga conectada para alumbrado por superficie construida, se expresa en Watts por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). Las tablas de eficiencia energética para alumbrado de la NOM-007-ENER-2014 indican los valores de los DPEA mínimo.

Figura 7 Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado} \left[ \frac{W}{m^2} \right]}{\text{Área total iluminada}}$$

### 2.1.14 Reflectancia

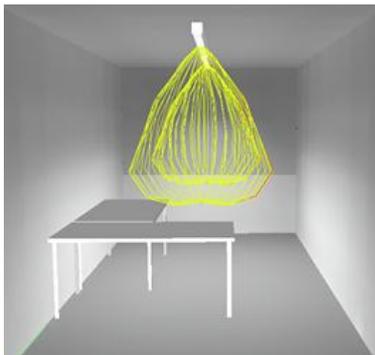
Se define como la relación de la iluminación que una superficie refleja (luminancia) en relación con lo que recibe. Cuando una luz incide sobre los cuerpos y dependiendo de sus características, esta puede ser absorbida, reflejada o transmitida, y según la selectividad que tenga frente a las diferentes frecuencias, esto determinara su color.

## 2.2 Tipo de iluminación

### 2.2.1 Iluminación directa

La luz es directamente proyectada desde la luminaria hacia el plano de trabajo.

Figura 8 Iluminación directa



Tiene la ventaja de tener un mejor rendimiento que los sistemas con luz indirecta, debido a que la luz no es reflejada antes de llegar a la superficie por iluminar.

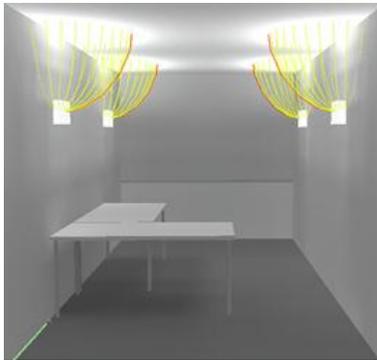
Sin embargo, existe un riesgo importante de deslumbramiento y de contraste entre las zonas oscuras (por ejemplo el techo) y las zonas iluminadas.

Fuente: [www.energieplus.be](http://www.energieplus.be)

## 2.2.2 Iluminación indirecta

Una superficie, el plafón o las paredes, es utilizada como reflector para difundir la luz.

**Figura 9 Iluminación indirecta**



Fuente: [www.energieplus.be](http://www.energieplus.be)

Tiene la ventaja de que la difusión de la luz por el plafón ofrece una protección contra el deslumbramiento y una repartición más uniforme del nivel de iluminación. Se utiliza mucho para diseñar diferentes ambientes.

Sin embargo, dado que la luz es reflejada antes de llegar a la superficie por iluminar, este tipo de iluminación tiene un rendimiento menor y por lo tanto, implica instalar una mayor potencia que con un sistema de iluminación directo, para un mismo nivel de iluminación.

Se debe cuidar el no usar fuentes de iluminación demasiadas potentes para que el plafón no se vuelva un foco de deslumbramiento.

El nivel de iluminación depende de los coeficientes de reflexión de las paredes sobre las cuales es proyectada la luz. Así, se debe prestar una atención especial a la limpieza y mantenimiento de dichas superficies con el fin de que no disminuya el rendimiento del sistema a lo largo del tiempo.

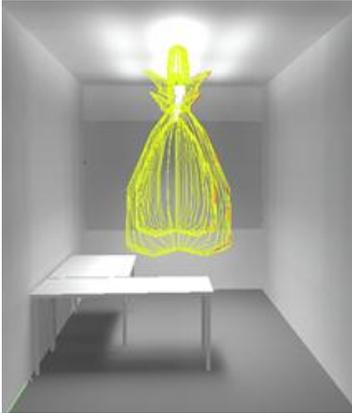
Dada la posición invertida de estas luminarias, reciben más polvo y suciedad (insectos muertos por ejemplo), este tema es un inconveniente mayor cuando una parte de la luminaria es transparente y permite la difusión de la luz hacia abajo.

Este tipo de iluminación no produce sombra, por lo que también puede ser monótona y dificultar la percepción de objetos en tres dimensiones.

## 2.2.3 Iluminación mixta

Este modo de iluminación combina los dos tipos anteriormente descritos: directo e indirecto, sin embargo, domina la parte indirecta.

**Figura 10 Iluminación mixta**



Fuente: [www.energieplus.be](http://www.energieplus.be)

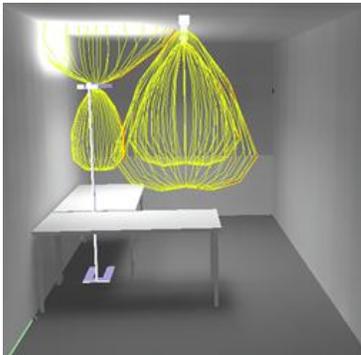
Este tipo de iluminación presenta las mismas ventajas que el de iluminación indirecta. Además, la parte directa permite crear sombras y reduce el nivel de iluminación del plafón.

Las diferencias de los niveles de iluminación en el cuarto son mucho menos marcadas que con luz directa. Es una gran ventaja en los cuartos con techos muy altos al evitar la percepción de una zona muy oscura en el techo.

Cuando el cuarto cuenta con paredes claras, es un sistema con un buen rendimiento. La principal desventaja es la misma que con un tipo de iluminación indirecta, el rendimiento es sensible a los coeficientes de reflexión de las paredes.

Existen luminarias que entregan, a partir de una misma fuente, luz directa e indirecta.

**Figura 11 Iluminación con 2 componentes**



Fuente: [www.energieplus.be](http://www.energieplus.be)

También se puede separar las fuentes de luz, asegurando un nivel de iluminación mínimo directamente el plano de trabajo, el escritorio por ejemplo, y el resto de la iluminación del cuarto con otra fuente de luz.

Esta opción es la más interesante del punto de vista energético, dado que implica un bajo nivel de iluminación general y luminarias puntuales según las necesidades.

## 2.3 Reglas básicas de diseño

El diseño de un sistema de iluminación debe estar ligado con el área que va a ser iluminada. Se debe tomar en cuenta la forma y el tamaño de los espacios, los colores, las reflectancias de las superficies, la actividad que va a ser desarrollada, la disponibilidad de la iluminación natural, etc.

El objetivo de un buen diseño es lograr el nivel adecuado de iluminación de un local, de acuerdo a los requerimientos en el área de trabajo (ver Anexo 1 Niveles de Iluminación para áreas de trabajo: NOM-025-STPS-2008).

### 2.3.1 Iluminación de puestos de trabajo

Se debe evitar la luz directa del sol sobre los planos de trabajo, por su gran intensidad lumínica, que genera contrastes excesivos y causa deslumbramiento. Las ventanas deben ir equipadas con un dispositivo interno o externo de cobertura adecuada y regulable.

Figura 12 Control del ingreso de la luz natural

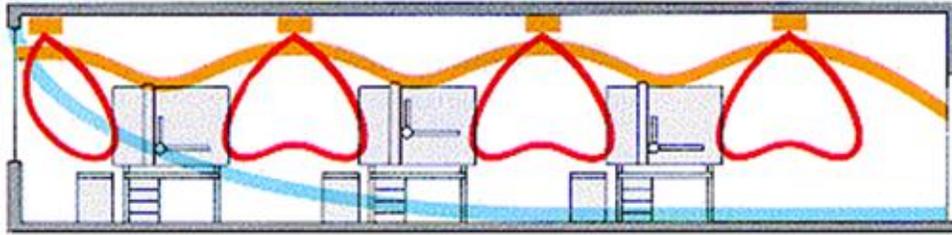


De esta manera, se evita el ingreso directo de los rayos del sol pero es posible aprovechar la luz natural, mediante la difusión y reflexión de los rayos solares hacia el interior. En muchas oficinas, los ocupantes tienden a reemplazar el ingreso de luz solar por iluminación artificial, lo cual no es conveniente al nivel energético.

Cuando la posición de los puestos de trabajo está fija, una excelente solución para reducir la potencia instalada es situar las luminarias cerca del área de trabajo. Esta configuración permite optimizar el sistema de iluminación:

- reduciendo el nivel de iluminación en los pasillos
- evitando alumbrar las zonas con suficiente luz natural
- seleccionando la luminaria adecuada según los objetos a iluminar (planos verticales como los archiveros por ejemplo). Se deberá considerar la forma del plafón.

Figura 13 Iluminación en puestos de trabajo



## 2.3.2 Alumbrado industrial

El trabajo realizado en la industria cubre una gama de actividades mucho más variada que en las oficinas. Las tareas visuales pueden ser extremadamente pequeñas o muy grandes, oscuras o claras, y abarcan formas planas o contorneadas. Por lo tanto, el sistema de alumbrado industrial está determinado principalmente por la naturaleza del trabajo a realizar, la forma del espacio que se ilumina y el tipo de estructura del techo.

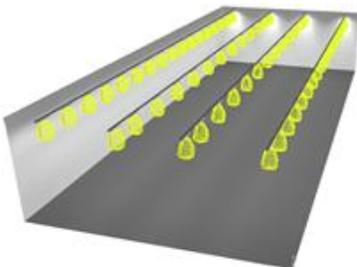
La mayoría de las aplicaciones industriales utilizan luminarias destinadas a proporcionar una distribución de luz de forma directa o mixta.

### 2.3.2.1 Iluminación de naves industriales

Para las naves industriales, se recomienda instalar domos en la medida de lo posible para aprovechar la luz solar. Sin embargo, en la mayoría de los casos, es necesario añadir luz artificial a la natural ya existente.

Una iluminación general uniforme permite tener mayor flexibilidad en cuanto a la organización del área, aunque conlleva generalmente a un sobredimensionamiento del sistema de iluminación.

Figura 14 Alumbrado de nave industrial



Fuente: [www.energieplus.be](http://www.energieplus.be)

Esta configuración tiene la ventaja de:

- Poder modificar completamente la disposición de la nave sin modificar el sistema de iluminación
- Organizar los puestos de trabajo de manera variable en toda la superficie de la nave
- Instalar nuevos equipos a futuro

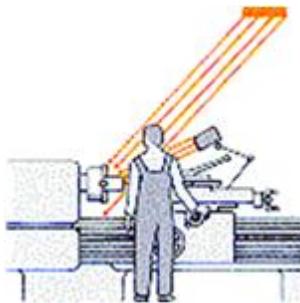
Las luminarias instaladas pueden permitir cambiar la orientación de la luz, el tipo de reflector, etc. Pueden también estar instaladas sobre rieles.

### **2.3.2.2 Puestos de trabajo de precisión**

En este tipo de trabajo, una solución de iluminación puntual permite disponer de un nivel de iluminación importante, conforme a la norma, sin incrementar de manera desproporcionada el nivel de iluminación general y por lo tanto de consumo energético.

Es importante cuidar la ubicación de estas luminarias de apoyo para no provocar situaciones peligrosas de trabajo:

**Figura 15 Iluminación de apoyo tipo 1**



Se instalan directamente en el puesto de trabajo. En este caso, la posición y orientación debe ser ajustable.

**Figura 16 Iluminación de apoyo tipo 2**



Se instalan en los pasillos alrededor de los puestos de trabajo con el fin de que la luz llegue lateralmente, sin provocar sombras ni deslumbramientos.

**Figura 17 Sombra incómoda**



Una luminaria mal ubicada puede generar sombras incómodas sobre las áreas de trabajo.

Para controlar el deslumbramiento, las luminarias están provistas de rejillas, difusores, cubiertas prismáticas o elementos especulares.

### **2.3.3 Alumbrado de establecimientos comerciales.**

En los locales destinados a la exposición de objetos (tiendas, almacenes y salas de exposición), la meta principal del alumbrado es la de obtener una presentación atractiva, que concentre la atención en sus mejores ventajas, lo que se puede lograr con altos niveles de iluminación y un diseño sofisticado.

Se recurre al alumbrado direccional para dirigir la atención hacia las “ofertas especiales”; con este fin se utiliza la instalación de aparatos de proyección o bombillas con haz de luz concentrada (spots).

Caso de los supermercados:

**Figura 18 Iluminación ineficiente en supermercado**



Fuente: [www.energieplus.be](http://www.energieplus.be)

Antes, en los supermercados, el sistema de iluminación estaba sobredimensionado, cubriendo toda la superficie de venta con niveles de iluminación muy altos... justificados entonces por cuestiones de “marketing”!

Sin embargo, esta configuración creaba zonas de sombras en ciertos anaqueles que impedían ver adecuadamente los productos exhibidos. Este riesgo estaba acentuado por la altura de los plafones y el uso de luminarias colgantes.

**Figura 19 Iluminación eficiente en supermercado**



Fuente: [www.energieplus.be](http://www.energieplus.be)

Actualmente, en muchos lugares, encontramos un sistema de iluminación compuesto de dos componentes, con muchas ventajas sobre el tipo de iluminación directa de una sola fuente. Se instala un sistema de iluminación general con un nivel de iluminación adecuado para las circulaciones en los pasillos y al nivel de los anaqueles, se instala un segundo circuito, más intensivo, que permite poner en valor la mercancía y crear contrastes de luminosidad.

De esta manera, se genera ahorros de energía, dado que la potencia total instalada es menor (hay que tener cuidado y hacer un estudio comparativo al verificar antes al nivel teórico que la suma de los dos circuitos de iluminación no es mayor a la potencia instalada de un solo circuito).

## 3 Tipos de lámparas

Hoy en día, encontramos en el mercado una gran diversidad de lámparas cuyo funcionamiento, potencia y eficacia varían de una tecnología a la otra. Podemos distinguir tres grandes grupos de lámparas:

1. Las **lámparas incandescentes** que utilizan la elevación de la temperatura para producir luz (incandescentes de filamento, halógenas...)
2. Las **lámparas de descarga** que incluyen:
  - Las lámparas fluorescentes (neones) que utiliza la luminosidad de polvos que se encuentran dentro de los tubos. (fluocompactas, tubos fluorescentes, lámpara de inducción...)
  - Las lámparas de descarga alta presión como las de vapor de sodio de alta presión, aditivos metálicos
3. Las **lámparas a LED** que se componen de diodo electro lumínicos de diferentes colores.

### 3.1 Lámparas incandescentes

#### 3.1.1 Lámparas de filamento

Es una lámpara para interiores.

Este tipo de lámparas se basa sobre el principio de funcionamiento inventado por Thomas Edison en el siglo XIX. Un filamento de tungsteno se calienta cuando es atravesado por una corriente eléctrica. Este filamento esta introducido dentro de una bombilla vacía o llena de gas inerte, produce fotones luminosos (luz). De este funcionamiento, el filamento pierde partículas metálicas que se almacenan en las paredes de la bombilla, reduciendo su rendimiento lumínico y acortando la vida de la bombilla.

Figura 20 Modelos de lámparas incandescentes de filamento



Fuente: Philips

### Datos técnicos

- Potencias más comunes: 25W – 40W – 60W – 75W – 100W
- Flujo luminoso: de 8.8 lm/W a 25 lm/W
- IRC :100
- T° color : 2700K

**Tabla 4 Ventajas e inconvenientes - Lámparas de filamento**

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Costo del material</li><li>• Fiel reproducción de los colores (IRC de 1)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rendimiento muy bajo ya que 92 a 95% de la energía eléctrica es perdida en forma de calor. Solamente el 5% al 8% de la electricidad consumida es transformada en luz.</li><li>• La intensidad de la luz va disminuyendo con el tiempo.</li><li>• La vida de la lámpara no sobrepasa las 1000 horas de funcionamiento.</li></ul>

### **3.1.2 Lámparas halógenas**

Son de igual forma lámparas incandescentes cuya bombilla contiene vapores de bromuro o yodo. Estos gases permiten al tungsteno que se libera por el funcionamiento de la lámpara de volver a formarse en el filamento, disminuyendo su degradación. Esto permite disponer de un calentamiento del filamento mayor y por lo tanto una producción de luz más blanca y elevada.

Existen numerosas tipologías de lámparas halógenas cuya potencia se sitúa comúnmente entre 20 a 500 W.

También son lámparas para interiores.

Figura 21 Modelos de lámparas incandescentes halógenas



Fuente: Philips

Datos técnicos:

- Potencias de 25 a 44000W
- Flujo luminoso: de 12 lm/W a 30 lm/W
- IRC :100
- T° color : 2800-3000 K

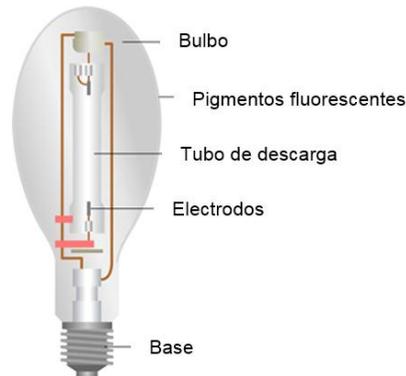
Tabla 5 Ventajas e inconvenientes - Lámparas halógenas

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"><li>• Rendimiento luminoso 2 veces mayor al de las lámparas incandescentes clásicas.</li><li>• Vida útil de la lámpara 2 veces mayor a la de filamento (2000 horas).</li><li>• Su tamaño es más pequeño y permite implantarlas en equipos más compactos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Los rayos ultravioletas cancerígenos no son detenidos por el cuarzo de la bombilla.</li><li>• El cuarzo de la bombilla es muy frágil y no soporta el contacto con los dedos.</li><li>• El costo es más elevado que el de las lámparas incandescentes comunes.</li></ul>

### 3.3 Lámpara de descarga

Una lámpara de descarga funciona por medio de una descarga de corriente eléctrica en una atmosfera gaseosa. La descarga se hace a través de un tubo de descarga que se encuentra en una bombilla vacía.

Figura 22 Principio de la lámpara de descarga



Según la presión del gas en el tubo o bombilla, se distinguen las lámparas de baja y alta presión. Para funcionar, requieren de:

Figura 23 Starter



Figura 24 Balastro



Figura 25 Condensador



#### 3.3.1 Lámparas fluorescentes

Es una lámpara para interiores.

El gas existente en el interior del tubo es comúnmente vapor de mercurio a baja presión. La emisión principal de la luz proviene de una o más capas de material fluorescente, el cual es excitado por la radiación ultravioleta de la descarga. El bulbo puede ser de forma tubular recta o curvada. Requiere de elementos auxiliares como un starter que entrega la corriente que excita el gas y de un balastro que elimina el brillo y resplandor.

Figura 26 Tubo fluorescentes T8



Figura 27 Tubo fluorescentes T5



Figura 28 Comparativo T12, T8 y T5



Datos técnicos:

T12	T8	T5
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencias de 21, 39 y 75W</li> <li>• Flujo luminoso: de 40lm/W a 65 lm/W</li> <li>• Longitud del tubo: 60cm – 122cm – 244cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencias de 17, 32 y 59W</li> <li>• Flujo luminoso: de 40 lm/W a 95 lm/W</li> <li>• Longitud del tubo: 60cm – 120cm – 150cm</li> <li>• Diámetro del tubo T8 -26mm</li> <li>• Sustitución de T12:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 17 W sustituye a las de 21W</li> <li>- 32 W sustituye a las de 39W</li> <li>- 59 W sustituye a las de 75W</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencias de 14, 21, 28, 35, 39 y 54 W</li> <li>• Flujo luminoso: de 89 lm/W a 104 lm/W</li> <li>• Longitud del tubo: 60cm – 120cm – 150cm</li> <li>• Diámetro del tubo 16mm</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• IRC: 80 a 90</li> <li>• T° color : 2700 a 6500 K</li> <li>• Vida útil entre 5,000 y 20,000 horas con balastro electrónico y hasta 42,000 para tipologías de larga vida</li> </ul>		

Tabla 6 Ventajas e inconvenientes - Tubos fluorescentes

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo reducido</li> <li>• Buen rendimiento energético (30 % de la energía eléctrica es transformada en luz)</li> <li>• Vida de 6 a 8 veces más elevada que una lámpara convencional (6,000 a 8,000 horas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes dimensiones</li> <li>• Luz fría</li> </ul>

### 3.3.2 Lámparas fluocompactas

También son lámparas para interiores.

Son lámparas de bajo consumo, resultantes de una variante menos aparatosa que los tubos fluorescentes. Son tubos con formas circulares o bien en U, de menor tamaño y diámetro que las fluorescentes convencionales. Algunos modelos disponen de un sistema de regulación electrónica de corriente que evita el parpadeo en el encendido.

Este tipo de lámpara constituye una buena alternativa a las lámparas incandescentes ya que consumen 5 veces menos de energía eléctrica para el mismo confort visual y puede remplazar también las lámparas de descarga de alta intensidad.

Figura 29 Modelos de lámparas fluocompactas



#### Datos técnicos:

- Potencias de 5 a 150 W. Las más comúnmente empleadas son las de 9W (que sustituyen a 45W incandescentes), las de 15W (que sustituyen a 60W incandescentes), las de 20-23W (que sustituyen a 75-100W incandescentes),
- Flujo luminoso: de 37 lm/W a 104 lm/W
- Longitud del tubo: 60cm – 120cm – 150cm
- Diámetro del tubo 16mm
- IRC : 80 a 90
- T° color : 2700-6500 K
- Vida útil: 5,000 a 19,000 horas con balastro electrónico y hasta 30,000 para tipologías de larga vida

Tabla 7 Ventajas e inconvenientes – Lámparas fluocompactas

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"><li>• Logran ahorros importantes frente a las lámparas incandescentes aun considerando el diferencial de costo de las lámparas.</li><li>• Vida útil: elevada de 6000 a 8000 horas</li><li>• Se integran en el soporte de la lámpara incandescente</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Costo elevado aunque amortizable</li><li>• Tardanza en llegar al punto de funcionamiento (decenas de segundos)</li><li>• Radiación electromagnética importante 180V/m. Se debe evitar su uso en zonas de instancia larga.</li></ul>

### 3.3.3 Lámpara fluorescente de inducción magnética

Es una lámpara para exterior.

Esta tecnología utiliza mercurio a baja presión como el tubo fluorescente y la lámpara fluocompacta. La luz es producida por ionización de los átomos de gas existentes en la bombilla. La radiación invisible es transformada a visible a través de los polvos fluorescentes que se encuentran adheridos en la parte interna de la bombilla. En este tipo de lámpara no existen electrodos ya que la ionización de los átomos se realiza a través de un campo electromagnético creado por el paso de corriente a alta frecuencia en una bobina situada en el centro de la bombilla. Esta corriente de alta frecuencia se produce por un generador exterior.

Figura 30 Modelos de lámparas de inducción magnética



#### Datos técnicos:

- Potencias de 40 a 300 W.
- Flujo luminoso: de 65 lm/W a 85 lm/W
- IRC : 85
- T° color : 2700-6500 K
- Vida útil: de 60,000 horas (muy larga)

**Tabla 8 Ventajas e inconvenientes – Lámparas fluocompactas**

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• La vida de este tipo de lámpara es de 60 000 horas, obtenida básicamente por el hecho que la bobina esta externa al conjunto.</li><li>• Color similar al de las lámparas fluorescentes.</li><li>• Interesante en situaciones donde el mantenimiento de la lámpara es de difícil acceso o costoso y cuando se requieren largos tiempos de funcionamiento.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Costo elevado</li><li>• Gran tamaño</li><li>• Fuente de luz difusa</li></ul>

### 3.3.4 Lámpara de aditivos metálicos

Es también una lámpara para exteriores. El gas es vapor de mercurio de alta presión mezclado con halogenuros metálicos. (dysprosium, scandium, sodio, tallium, indium, etc...). La temperatura del color dependerá exclusivamente del tipo de halogenuro introducido.

Este tipo de lámpara emite una pequeña cantidad de radiación ultravioleta. En algunos casos, se transforma esta radiación a través de un polvo integrado en las paredes de la bombilla, en radiación visible.

**Figura 31 Lámpara de aditivos metálicos**



#### Datos técnicos:

- Potencias: 70W - 100W – 150W – 250W - 400 W
- Flujo luminoso: de 50 lm/W a 100 lm/W
- IRC :65 a 70
- T° color : 3100 a 5000 K

Tabla 9 Ventajas e inconvenientes – Lámparas de aditivos metálicos

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"><li>• Flujo luminoso elevado y buen rendimiento</li><li>• Facilidad de implantación en sustitución de lámparas de sodio de alta presión</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Las lámparas no son estables en el tiempo (cambio de color por pérdida del polvo)</li><li>• Tiempo de encendido que dura minutos</li><li>• Lámparas pueden explotar lo que obliga la incorporación de protecciones</li></ul>

### 3.3.5 Lámpara de vapor de sodio a alta presión

Lámpara de exterior. El tubo de descarga contiene una amalgama de sodio con mercurio (en la mayoría de los casos) y xenón como gas de encendido. Este tipo de lámpara genera una pequeña cantidad de luz ultravioleta. Existen modelos que disponen de polvo adherido en la bombilla que transforma esta radiación en luz visible.

El modelo estándar emite una luz amarilla anaranjada, lo que permite obtener una alta eficacia lumínica. Este tipo de lámpara es fácilmente reconocible por su tubo de arco en cerámica de color blanco.

Este tipo de tecnología requiere de un balastro y sistema de encendido, y en algunos casos balastro electrónico.

Figura 32 Lámpara de vapor de sodio a alta presión



#### Datos técnicos:

- Potencias: 35, 50, 70, 100, 150, 250, 400 y 1000W
- Flujo luminoso: de 52 lm/W a 115 lm/W
- IRC : 22 a 85
- T° color : 2100 a 2700 K

**Tabla 10 Ventajas e inconvenientes – Lámparas de vapor de sodio a alta presión**

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Eficacia luminosa elevada de 70 a 115 lm/W</li><li>• Vida útil hasta 22,000 horas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Costo elevado</li><li>• Baja temperatura de color</li></ul>

### 3.3.6 Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Es una lámpara de exterior. El tubo de descarga tiene forma de U y se sitúa en una bombilla exterior. Este tubo contiene una mezcla de vapor de sodio y gas (neón y argón) Este tipo de lámpara produce luz visible lo cual evita la existencia de polvo adherido en la bombilla. La luz producida es monocromática de color amarillo anaranjado lo que confiere un índice IRC bajo.

Su uso común es el de carreteras y autopistas ya que su rendimiento es elevado y el IRC no es importante.

**Figura 33 Lámpara de vapor de sodio a baja presión**



#### Datos técnicos:

- Flujo luminoso: de 66 lm/W a 180 lm/W
- IRC : 5
- T° color : 1740

**Tabla 11 Ventajas e inconvenientes – Lámparas de vapor de sodio a baja presión**

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Eficacia luminosa elevada</li><li>• Vida útil hasta 22,000 horas</li><li>• Encendido inmediato en caliente en caso de interrupción del servicio</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Costo elevado</li><li>• Baja temperatura de color</li></ul>

### 3.3.8 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Es una lámpara de exterior. La mezcla de gas está compuesta por vapor de mercurio y argón. Este tipo de lámpara emite radiación ultravioleta que es transformada a luz visible a través del polvo adherido en la bombilla.

Esta lámpara dispone de electrodos auxiliares que sirven de arrancador, de un balastro y condensador o bien balastro electromagnético. Esta tipología de lámpara está en desuso por su baja eficacia luminosa, su IRC y su vida útil. Era utilizada en alumbrado público.

Figura 34 Lámpara de vapor de mercurio a alta presión



#### Datos técnicos:

- Potencias: 100, 125, 175, 250, 400 y 10,00W
- Flujo luminoso: de 36 lm/W a 55 lm/W
- IRC : bajo
- T° color : blanco-azul

Tabla 12 Ventajas e inconvenientes – Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vida útil promedio: 24,000 hrs</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Flujo luminoso bajo</li><li>• IRC bajo</li></ul>

### 3.4 Lámparas LED

Son lámparas para de interiores y exteriores.

Es un Diodo Emisor de Luz, por su acrónimo en inglés "Light Emitting Diode" «LED».

La tecnología LED de reciente descubrimiento se compone de un dispositivo semi conductor de silicio que es atravesado por una corriente muy baja (cientos de miliamperios) y de una tensión igualmente reducida (a partir de 3,5 V), que produce una emisión potente de luz.

Para los diodos que se emplean en alumbrado, el dispositivo emisor de luz es inundado en el transcurso de su fabricación en una lentilla que distribuye la luz según un ángulo de 120 grados.

**Figura 35 Lámparas LED**



#### Datos técnicos

- Potencias: 25W – 40W – 60W – 75W – 100W
- Flujo luminoso: de 28 lm/W a 150 lm/W
- IRC :80-95
- Sustitución: T-8 (32W ) por LED T-8 (18W) 120mm : T-8 (17W) x LED T8 (8W) 60mm ; Aditivos Metálicos de 400W x LED industrial de 150W

**Tabla 13 Ventajas e inconvenientes – Lámparas LED**

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Muy bajo consumo eléctrico</li><li>• Vida muy larga en torno a 50000 horas</li><li>• Pequeñas dimensiones que ofrecen multitud de aplicaciones</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Costo elevado</li></ul>

### 3.5 Tabla recapitulativa

**Tabla 14 Resumen de características de lámparas**

Tipo Lámpara	Auxiliares	Aplicaciones	Flujo luminoso (Lm/W)	Temperatura de color (K)	IRC	Vida útil (hrs)	Ventajas	Inconvenientes
Incandescente	-	Doméstica esencialmente, Decorativo.	8.8 a 25	2600 - 3000	Bueno a muy bueno	1,000	Material mínimo, costo bajo	Eficacia lumínica baja, disipación de calor
Halógena	-	Tiendas, oficinas, industrias...	12 a 30	2800 - 3000	Muy bueno	2,000	Material mínimo, Excelente IRC	Eficacia lumínica baja Disipación de calor
Fluorescente	Balastro, starter, condensador	Tiendas, oficinas, industrias...	40 a 104	2700 – 8000	Diversos tipos y temperaturas	7,000	Económico	A veces, gran tamaño
Fluocompacta	-	Tiendas, oficinas, industrias...	37 a 104	2700 - 400	Bueno	5,000	Material mínimo	Tiempo de re – encendido algunos minutos en caliente
LED		Tiendas, oficinas, industrias, exterior	28 a 150	2700 - 3000	Excelente	50,000	Bajo consumo Vida larga	Costo elevado
Inducción magnética		Industrias en interior y exterior	65 a 85	2700 - 400	Bueno	60,000	Ubicación de difícil acceso Larga vida útil	Costo elevado Luz difusa
Vapor de mercurio a alta presión	Balastro, condensador	Industrias, halls almacenes, talleres de gran altura, ...	36 a 55	2900 – 4200	Aceptable en industria, IRC bajo	24,000	Eficacia lumínica buena, vida elevada	Tiempo de encendido y re encendido de algunos minutos

Aditivos metálicos	Balastro, condensado, arrancador	Industrias y exteriores (grandes espacios, estadios)...	50 a 100	2100 - 2700	Aceptable	4,000 a 6,000	Eficacia lumínica buena, elevada vida	Tiempo encendido de 5 minutos
Vapor de sodio a baja presión	Balastro, condensador	Viejas instalaciones ya en desuso	66 a 180	1800	Luz amarilla monocromática, IRC malo	22,000	Eficacia lumínica elevada	Baja temperatura de color Costo elevado
Vapor de sodio a alta presión	Balastro, condensado, arrancador	Instalaciones deportivas, alumbrado público grandes espacios	52 a 115	2100 - 2700	Luz dorada, agradable, IRC mediocre	22,000	Eficacia lumínica elevada	Baja temperatura de color Costo elevado



## **4 Componentes y control de sistemas de iluminación**

La luminaria es un equipo de iluminación que distribuye, filtra o controla la luz emitida por una lámpara o lámparas, que incluye todos los accesorios necesarios para fijar, proteger y operar esas lámparas, y los necesarios para conectarse al circuito de utilización eléctrica.

Existen diferentes tipos de luminarias: luminarias portátiles, portalámparas, colgantes, sobrepuestas o empotradas.

### **4.1 Componentes de una luminaria**

Los componentes de las luminarias dependen del tipo, tamaño, aplicación y potencia de la luminaria. Encontramos:

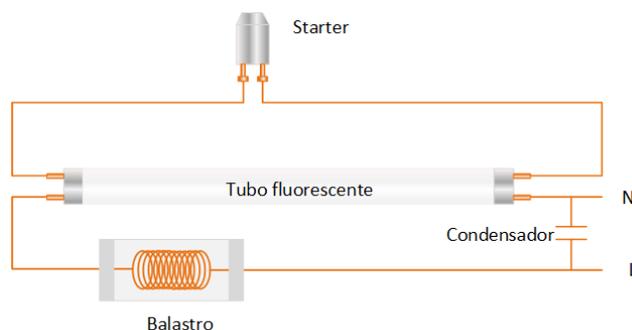
- Equipos auxiliares. Corresponden a los elementos de arranque y control de suministro eléctrico de las lámparas halógenas, fluorescente y de iluminación exterior. Estos equipos tienen un consumo propio que oscila entre el 3% y 25% de la energía de la lámpara.
- Armazón: donde se alojan los diversos componentes de la luminaria (reflectores, lámpara, auxiliares, entre otros.)
- Reflector: es el componente encargado de dirigir la luz y filtrarla.
- Lamas: se encargan de evitar el resplandecimiento de la luz en cuanto se mira hacia ella.
- Difusor o protector: sustituye en muchos casos las lamas y permite además proteger la lámpara.
- Soporte: es donde se fijan los elementos auxiliares de la lámpara.

#### **4.1.1 Equipos auxiliares**

El funcionamiento de las lámparas fluorescentes y de las lámparas de descarga requiere de la utilización de equipos auxiliares como son:

- El starter
- El balastro
- El condensador

Figura 36 Equipos auxiliares de lámparas de descarga



### 4.1.2 Starter/arrancador

El starter o estárter se utiliza para las lámparas fluorescentes y fluocompactas, el arrancador para las lámparas de descarga. Se compone de un tubo lleno de gas inerte con un bimetálico que en el momento que se enciende la lámpara es atravesado por un arco eléctrico. Este bimetálico, bajo el efecto del calor, se cierra y el arco se detiene hasta que vuelve a su posición inicial en frío.

Figura 37 Starter



### 4.1.3 Balastos

El balastro es un dispositivo que pone y mantiene en operación lámparas de alta descarga. Se compone de una bobina de cobre que rodea un núcleo de hierro (balastro inductivo o electromagnético). Este equipo está conectado al estárter. La electricidad proveniente del estárter provoca un impulso de tensión elevado entre los electrodos de la lámpara provocando el encendido de la lámpara.

El balastro puede ser electromagnético (provocan un factor de potencia muy bajo), electrónico o híbrido tal que, por medio de inductancias, capacitancias, resistencias, y/o elementos electrónicos (transistores, tiristores, etc.), solos o en combinación, limitan la corriente de lámpara y, cuando es necesario, la tensión y corriente de encendido. Existen diferentes tipos de balastos para diferentes lámparas de descarga:

- Balastos electromagnéticos para lámparas de vapor de sodio alta presión.
- Balastos electrónicos para lámparas de vapor de sodio alta presión.

- Balastos electromagnéticos para lámparas de vapor de sodio baja presión.
- Balastos electrónicos para lámparas de vapor de sodio en baja presión.
- Balastos electromagnéticos para lámparas de vapor de mercurio.
- Balastos electrónicos para lámparas de vapor de mercurio.
- Balastos electromagnéticos para lámparas de aditivos metálicos.
- Balastos electrónicos para lámparas de aditivos metálicos.

**Figura 38 Balastro electromagnético**



**Figura 39 Balastro electrónico para tubo fluorescente**



**Figura 40 Balastro electrónico para lámpara de vapor de sodio a alta presión**



También, se clasifican los balastos por su circuito eléctrico:

- Balastro tipo transformador en adelanto.
- Balastro tipo autotransformador en adelanto (autorregulado).
- Balastro tipo autotransformador en atraso (alta reactancia).
- Balastro tipo transformador en atraso (transformador de potencia constante).
- Balastro tipo reactor en serie.
- Balastro electrónico.
- Balastro híbrido.

En el caso de las lámparas fluorescentes, encontramos asimismo clasificación:

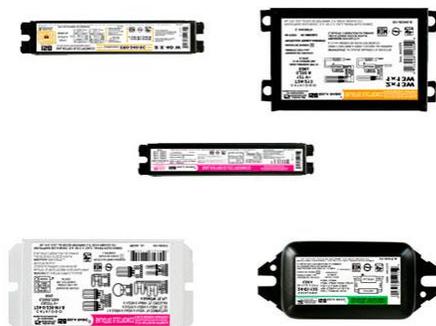
Por su aplicación:

- Encendido normal.
- Encendido rápido.
- Encendido instantáneo.

Por su factor de potencia:

- Balastro de alto factor de potencia.
- Balastro con factor de potencia corregido.
- Balastro de bajo factor de potencia

**Figura 41 Modelos de balastos para lámpara fluorescente**



Quando el balastro es de tipo electromagnético, es necesario agregar un condensador en el circuito para compensar el factor de potencia de la luminaria.

Los balastros electrónicos sustituyen el conjunto estárter, balastro y condensador.

#### **4.1.4 Reflector**

Dirigen la luz hacia la superficie directa o indirectamente. Existen dos tipos: los que dirigen la luz en forma dispersa y los que dirigen la luz en forma concentrada.

#### **4.1.5 Difusor**

Sirven como elemento protector para evitar deslumbramientos y también como elemento decorativo de la luminaria. Pueden ser de vidrio, acrílico o policarbonato.

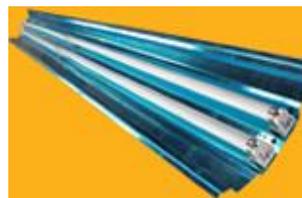
**Figura 42 Modelos de luminarias con difusores**



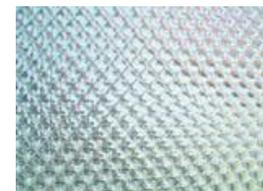
**Figura 43 Rejilla reflectora**



**Figura 44 Difusor especular**



**Figura 45 Difusor de acrílico**



## 4.2 Equipos de control

La necesidad de ahorrar en la iluminación implica un control de las lámparas en base a diversos factores. A continuación se enumeran los equipos más usuales para el control de la iluminación, distinguiendo el alumbrado interior del exterior.

### 4.2.1 Alumbrado interior

- Pulsador temporizado: este equipo permite controlar el funcionamiento de la lámpara de forma manual, y dispone de un temporizador que la apaga pasado un tiempo preestablecido. Se utiliza generalmente en las áreas de circulación, pasillo, escaleras de emergencia donde la presencia de los usuarios es temporal.
- Detector de presencia: Este aparato enciende la lámpara en cuanto detecta una presencia. En algunos casos dispone de un sistema de temporización que desactiva la lámpara transcurrido un tiempo pre establecido.
- Fotocelda con dimmer: Controla y regula la luz emitida por la lámpara en base a la luz natural del ambiente.

### 4.2.2 Alumbrado exterior

- Fotocelda: Este equipo enciende y apaga en base a la luz exterior. Puede utilizarse asociada a un reloj astronómico.
- Reloj astronómico: Se trata de un interruptor que enciende y apaga la lámpara en base al horario del amanecer y anochecer.
- Reactancia de doble nivel: Permite que la lámpara funcione con un nivel reducido en base a un horario preestablecido.
- Elementos en cabecera: Se suelen incluir diversos equipos en cabecera de la iluminación exterior, tales como estabilizadores de tensión, reductores de tensión y la combinación de ambos que encienden las lámparas con niveles reducidos y estabilizan la tensión de alimentación.

## 5 Como realizar el levantamiento técnico en campo

Los sistemas de iluminación pueden representar una gran parte del consumo de energía eléctrica en las PyMEs). Un sistema de iluminación debe ser diseñado para obtener el nivel de iluminación adecuado, en las áreas de trabajo o locales donde se desarrollan las actividades, con el menor consumo de energía eléctrica posible.

Este apartado consiste en una guía a utilizar con la finalidad de recolectar los datos importantes de los sistemas de iluminación instalados en las PyMEs y así poder identificar las oportunidades de ahorro de energía.

### 5.1 Características del edificio

#### 5.1.1 Uso y actividades realizadas

Como hemos mencionado, el diseño del sistema de iluminación se debe basar en la norma Oficial Mexicana vigente NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales, donde se encuentran clasificados los diferentes tipos de inmuebles y los criterios de eficiencia energética que debe cumplir el sistema de iluminación. Verifique si la PyME entra en el listado indicado en el anexo 2 del presente documento.

Identifique en primer lugar, las áreas iluminadas artificialmente así como las actividades desarrolladas en dichos espacios iluminados. En efecto, la Secretaria del Trabajo y Previsión Social (STPS) ha publicado la NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 en relación a los niveles mínimos de iluminación de los centros de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo (ver Anexo 1 del presente documento).

Registre la superficie aproximada de las áreas con uso o actividades diferentes, en caso de ser posible, dibuje un esquema general si no existe plano.

Anote la forma física de operar de los usuarios en el espacio iluminado (personal sentado, parado) o si en el lugar existe equipos y maquinaria.

#### 5.1.2 Características de los espacios

En la primera parte, indicamos que el color y tipo de las paredes, del techo y piso influyen en los niveles de iluminación y su calidad, al igual que la ubicación de las ventanas, presencia de cortinas, etc.

Apunte las características (color, material, etc.) de las paredes y techos de los espacios iluminados (colores claros son preferibles), ubicación de las ventanas.

De la misma manera, observe donde están colocadas las luminarias y como están fijadas.

## 5.2 Equipos instalados

Para poder evaluar el potencial de ahorros energéticos, es necesario realizar un levantamiento detallado de los equipos con el fin de determinar la carga por alumbrado eléctrico conectada de los espacios identificados.

Identifique y registre el tipo de lámparas instaladas en cada espacio iluminado así como la potencia de cada lámpara y el tipo de balastro (si existe). Si no la identifica, tome la referencia de fabricante indicada en el equipo y busque sus características en internet. No olvidar las áreas exteriores.

### Ecuación 3 Potencia de luminaria con balastro

$$P_{lum} = Num_{lamp/lum\ i} \times P_{lam} \times F_b$$

Donde.

$Num_{lamp/lum\ i}$  es la cantidad de lámparas por cada tipo de luminaria

$P_{lam}$  es la potencia de la lámpara en Watt

$F_b$  es el Factor de corrección por balastro.

Contabilice el número total de lámparas instaladas por cada tipo identificado:

### Ecuación 4 Conteo de lámparas

$$Num_{lamp} = \sum_i Num_{lum\ i} \times Num_{lamp/lum\ i}$$

Dónde:

$Num_{lamp}$  es la cantidad total de lámparas

$Num_{lum\ i}$  es la cantidad de luminarios

$Num_{lamp/lum\ i}$  es la cantidad de lámparas por cada tipo de luminaria

Es conveniente contar con una cámara fotográfica para llevar a cabo el registro de las lámparas.

## 5.3 Confort visual

Contando con el tiempo necesario y los equipos de medición requeridos, lo ideal es medir los niveles de iluminación en cada espacio para validar la conformidad con la norma.

Sin embargo, si no es posible, evalúe de manera rápida el confort visual de las áreas, contemplando estos 6 criterios:

- Un nivel de iluminación suficiente
- Un nivel de iluminación uniforme
- La ausencia de reflexión
- La ausencia de deslumbramiento
- La ausencia de sombras en los espacios de trabajo
- Una reproducción de los colores suficiente

A continuación, se ilustran algunos casos de acuerdo al tipo de actividad.

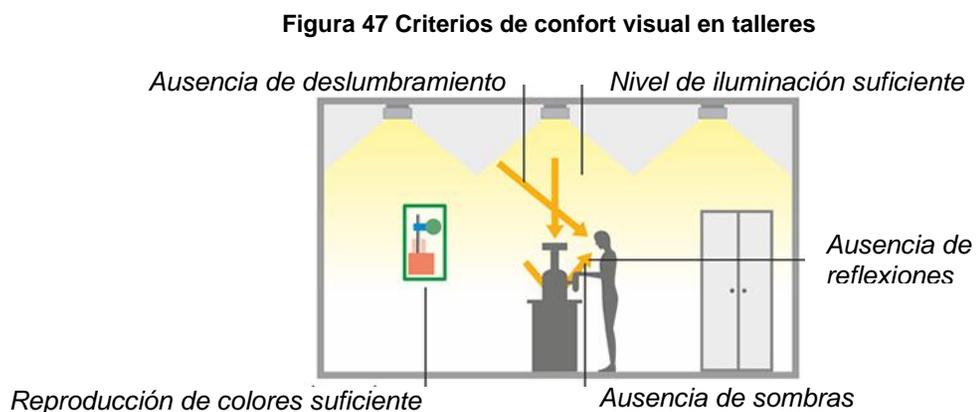
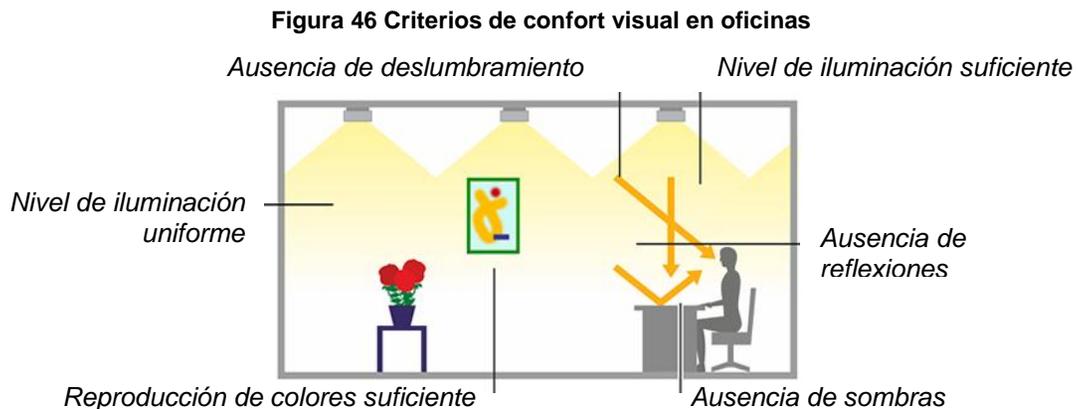
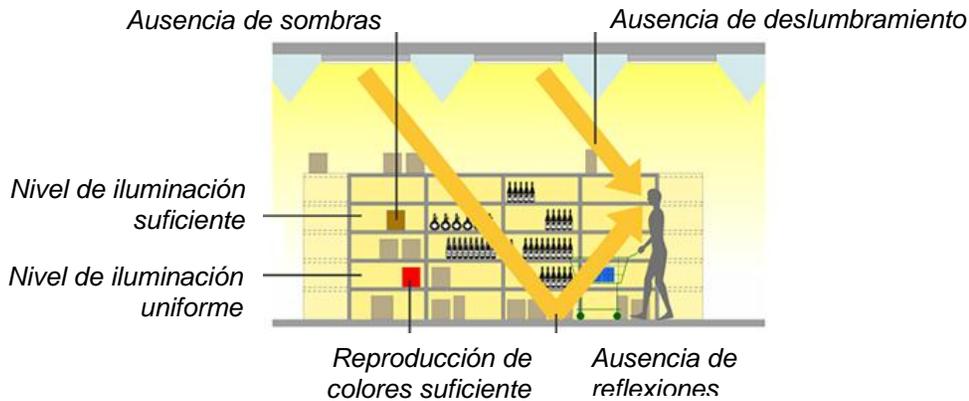


Figura 48 Criterios de confort visual en comercios



## 5.4 Mantenimiento

Como para cualquier tecnología, un mantenimiento preventivo adecuado de los equipos e instalaciones contribuye a evitar una disminución significativa del rendimiento energético.

### 5.4.1 Al sistema de iluminación

Observe en qué condiciones se encuentran las luminarias de cada espacio identificado: tienen polvo, cables sueltos, están amarillentas, etc.

Verifique el adecuado funcionamiento, es recomendable encender y apagar todas las lámparas del espacio iluminado, esto con la finalidad de conocer cuantas se encuentran operando correctamente y cuáles y cuantas fallan.

Pregunte al personal por el programa de mantenimiento realizado: si se realiza mantenimiento preventivo como limpieza por ejemplo, en dicho caso, la frecuencia de las actividades preventivas, si solamente se realiza mantenimiento correctivo, es decir la sustitución de la lámpara al final de su vida útil. Investigue si cuando se reemplaza una lámpara, se busca una alternativa energéticamente más eficiente para sustituir la lámpara fundida.

### 5.4.2 A las áreas iluminadas

La conservación de las áreas participa también al buen desempeño del sistema de iluminación. Las paredes, pisos y techos deben estar limpios, bien pintados, de colores claros preferentemente. El cambiar el color de las paredes ayuda a mejorar el confort visual de los usuarios.

## 5.5 Horarios de funcionamiento

Pregunte los horarios, días a la semana y semanas del año en los cuales los usuarios ocupan cada área iluminada, en particular, investigar si algunas áreas quedan sin nadie durante la hora de la comida, si los horarios de salida son escalonados, etc.

Por otro lado, averigüe los horarios de encendido y apagado del alumbrado en cada área de trabajo. Pueden ser más extensivos que los horarios de ocupación de cada área por las labores de limpieza, rondines de los guardias de seguridad, etc.

## 5.6 Gestión operativa

Pregunte quien realiza el encendido y apagado de luminarias: el mismo personal o usuario del área de trabajo, el personal de limpieza, el personal de vigilancia, etc. Investigue si existe un sistema de control automático de alumbrado interior y/o exterior.

Observe los usos y costumbres de los usuarios, en particular del personal de limpieza cuando realiza sus labores, prende toda la nave al limpiar un área, de la misma manera para el personal de seguridad.

## 5.7 Criterios de eficiencia energética

Finalmente, realice una evaluación rápida del nivel de eficiencia energética del sistema de iluminación en relación a los temas siguientes:

**Figura 49 Criterios de eficiencia energética**

*Rendimiento energético de las luminarias*



*Tipo de gestión operativa*

Evalúe el aprovechamiento de la luz natural: ¿hay presencia de luz natural?, ¿se aprovecha adecuadamente, es decir con un sistema controlable de cortinas para evitar reflexiones, deslumbramientos y sombras? En caso de que, ¿sería posible modificar las instalaciones para aprovecharla?

Observe si los circuitos de iluminación están separados de manera adecuada, entre los espacios de trabajo, de acuerdo a los horarios de ocupación por ejemplo, no tiene caso tener todo el taller prendido por un solo puesto de trabajo o en función de la luz natural, se puede separar en un interruptor la fila de lámparas al lado de las ventanas para acortar sus horas de funcionamiento.

Preste atención y anote las condiciones de funcionamientos inapropiadas:

- Un local iluminado a pesar de recibir suficiente luz natural (se prende temprano en la mañana y se queda prendido todo el día)
- Un local iluminado aunque no está ocupado (sanitarios)
- Un local grande completamente iluminado aunque se utiliza solamente una parte del mismo
- Un pasillo encendido todo el tiempo cuando solamente se usa algunas veces durante el día.
- etc.



## 6 Formato de recopilación de datos

Se propone utilizar el siguiente formato para recolectar los datos indicados en la sección anterior, durante el recorrido de las instalaciones y la entrevista con el personal de la PyME.

### FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Razón social \_\_\_\_\_  
Fecha del taller de Eficiencia Energética \_\_\_\_\_

#### I. Características del edificio

##### I.1 Uso y actividades realizadas

Tipo de edificio / ocupación: *(marcar con una cruz la o las opción(es) correcta(s))*

- |  |                                      |   |
|--|--------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Oficina                   | <input type="checkbox"/> Hospital    | <input type="checkbox"/> Bodegas              |
| <input type="checkbox"/> Escuela o centro docente  | <input type="checkbox"/> Hotel       | <input type="checkbox"/> Recreación y cultura |
| <input type="checkbox"/> Establecimiento comercial | <input type="checkbox"/> Restaurante | <input type="checkbox"/> Taller de servicio   |
|  |                                      | <input type="checkbox"/> Central de pasajeros |

Tipo de actividades realizadas: *(indicar la cantidad de áreas de este tipo)*

- |             |  |  |
|-------------|--|--|
| En interior | <input type="checkbox"/> Área de tránsito, estacionamiento interior  | <input type="checkbox"/> Área de circulación y pasillo                                   |
|             | <input type="checkbox"/> Tareas de inspección visual (recuento de piezas)  | <input type="checkbox"/> Tareas con distinción moderada de detalles (ensamble, oficinas) |
|             | <input type="checkbox"/> Tareas con distinción clara de detalles (sala de computo, laboratorio, área de dibujo)  |  |
|             | <input type="checkbox"/> Tareas con distinción fina de detalles (talleres de pintura, laboratorios de control de calidad)                                |  |
|             | <input type="checkbox"/> Tareas con alta exactitud en la distinción de detalles (ensamble y inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos) |  |
|             | <input type="checkbox"/> Tareas con alta grado de especialización en la distinción de detalles (ensamble de piezas muy pequeñas por tiempos prolongados) |  |
| En exterior | <input type="checkbox"/> Patios y estacionamientos   |  |

Resumen de áreas: *Indicar en la tabla abajo las diferentes áreas iluminadas en función de la clasificación anterior de áreas*

#	Nombre del área	Actividad desarrollada	Superficie (m <sup>2</sup> )	Tipo de ocupación (personal parado, sentado, maquinarias)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

##### I.2 Características de los espacios iluminados

#	Nombre del área	Ventana (SI/NO)	Cortinas (SI/NO)	Se aprovecha la luz natural (SI/NO)	Color de paredes (muy claro, claro, mediano, oscuro)	Color techo (Claro, mediano, ópaco)
1	-					
2	-					
3	-					
4	-					
5	-					
6	-					
7	-					
8	-					
9	-					
10	-					



*Iluminación – Tutorial para el trabajo en campo*  
**6. Formato de recopilación de datos**

IV.2 De las áreas iluminadas

#	Nombre del área	Hace falta pintar las paredes?	Ventanas limpias?
1	-		
2	-		
3	-		
4	-		
5	-		
6	-		
7	-		
8	-		
9	-		
10	-		

V. Horarios de funcionamiento

#	Nombre del área	Hora de funcionamiento de las luminarias (hr/días)	Días por semana de funcionamiento de luminarias	Semanas al año de funcionamiento de luminarias	Horas al día de ocupación de las áreas por el personal	Áreas que se quedan prendidas	Comentarios sobre los horarios de operación
1	-						
2	-						
3	-						
4	-						
5	-						
6	-						
7	-						
8	-						
9	-						
10	-						

VI. Gestión operativa

#	Nombre del área	Existe un sistema de control? (S/NO)	En caso de que si, de que tipo?	Quien enciende y apaga las luminarias?	Comentarios sobre los usos y costumbres de encendido y apagado
1	-				
2	-				
3	-				
4	-				
5	-				
6	-				
7	-				
8	-				
9	-				
10	-				

VII. Criterios de eficiencia energética (indique si ocurre alguna(s) de esta(s) situación(es) en las áreas)

#	Nombre del área	Se queda prendido la luz en un local que recibe luz natural?	Se queda prendido la luz aunque el espacio no está ocupado?	Está iluminada toda el área mientras solamente se ocupa una sola parte?	Se queda iluminado todo el tiempo un área aunque se use solamente unas veces por día?
1	-				
2	-				
3	-				
4	-				
5	-				
6	-				
7	-				
8	-				
9	-				
10	-				

## 7 Medidas de Ahorro de Energía

La optimización energética del sistema de iluminación de una PyME puede ser una fuente interesante de ahorro. En primer lugar, se deben priorizar las medidas de ahorro de energía operativas, es decir las que no implican una gran inversión y posteriormente analizar los posibles cambios de tecnologías:

1. Mejora de los niveles de iluminación
2. Mejora de la gestión y del control operativo (seccionamiento de circuito, detectores de presencia, fotoceldas, etc.)
3. Sustitución tecnológicas

### 7.1 Mejora de los niveles de iluminación

#### 7.1.1 Luz natural

Siempre se debe recomendar el aprovechamiento máximo de la luz natural en lugar de la iluminación artificial. En efecto, las características de la luz natural permiten tener una percepción óptima de las formas y colores. La iluminación artificial debe ser considerada como complemento a la luz natural.

Recomendar que se despejen las ventanas y aperturas hacia el exterior para permitir la entrada de luz natural pero que se instalen cortinas para controlar el deslumbramiento. Si se puede, sugiere introducir domos de luz natural. Existe en el mercado también, domos que concentren la luz natural y sustituyen luminarias durante el día.

Figura 50 Domos de luz natural



Figura 51 Domos de luz natural 2



**Figura 52 Domos tubulares en industria**



Fuente: [www.solatube.com.mx](http://www.solatube.com.mx)

**Figura 53 Domos tubulares en oficinas**



Fuente: [www.solatube.com.mx](http://www.solatube.com.mx)

Del punto de vista energético, la utilización de la luz natural como fuente principal de iluminación es gratuita. Se evaluarán los ahorros energéticos asociados a esta medida de energía, a partir de los datos levantados en campo de la cantidad de lámparas que se pueden apagar, la potencia instalada y sus horas de operación.

El ahorro en potencia  $A_{pot}$ , expresado en Watt, es:

**Ecuación 5 Ahorro en potencia (W)**

$$A_{pot} = N_{apagadas} \times (P_{lam})$$

Dónde:

$N_{apagadas}$  corresponde a la cantidad de luminarias que se van a apagar gracias al aprovechamiento de la luz natural, en comparación con la situación actual

$P_{lam}$  corresponde a la potencia consumida en Watt por la lámpara, incluyendo el balastro si tiene.

El ahorro de energía  $A_{en}$ , expresado en Wh, es:

**Ecuación 6 Ahorro en energía (Wh)**

$$A_{en} = A_{pot} \times H_{anual}$$

Dónde:

$A_{pot}$  corresponde al ahorro en potencia en Watt

$H_{anual}$  corresponde a las horas anuales de funcionamiento actual de las luminarias que se van a apagar con el aprovechamiento de la luz natural.

### 7.1.3 Color de paredes

El simple hecho de proponer pintar las paredes de un color claro ayuda a incrementar el nivel de iluminación de casi 20% y por lo tanto a reducir la cantidad de iluminación artificial.

Podemos también recomendar pintar el plafón de un color claro, en el caso de una iluminación indirecta, orientada hacia el plafón.

## 7.2 Mejora de la gestión y del control operativo

El control de la iluminación de las áreas se consigue aplicando alguno de los siguientes procedimientos:

- Programación horaria: cuando se conoce la rutina de operación diaria y los niveles de iluminación y distribución, se puede programar de forma automática su entrada a operar, en especial en naves industriales y áreas de servicios, donde se tienen bien establecidos los horarios de operación.
- Atenuadores (Dimmers): Son dispositivos que regulan el flujo luminoso de las lámparas y que pueden reducir la demanda al limitar la potencia de entrada. Funcionan con fotoceldas por ejemplo
- Temporizadores (Timers).- Son interruptores programables que conectan o desconectan sistemas, de manera que delimitan la operación del alumbrado a horarios preestablecidos.

### 7.2.1 Sensibilización de los ocupantes

En un primer tiempo, se recomienda influenciar el comportamiento de los ocupantes a través de la información y motivación para participar en la reducción del consumo energético. Estas medidas toman tiempo en su implementación pero permiten crear un cambio de consciencia a largo plazo, por lo que los resultados son duraderos.

Un primer paso en esta campaña de sensibilización es colocar pancartas para recordar al personal apagar la luz al salir de la oficina.

Un segundo paso es involucrar al personal de mantenimiento, limpieza y vigilancia en el programa de ahorro de energía. Se recomienda diseñar un programa ajustado de horarios de encendido y apagado de luminarias en todas las áreas de acuerdo al nivel de ocupación de las mismas, considerando horarios de comida, etc. El personal de vigilancia o limpieza puede participar en la detección de luminarias encendidas en áreas desocupadas (salas de junta, baños, etc.).

Figura 54 Apoyo visual



Si las lámparas son del tipo fluorescente con balastro electromagnético, es mejor apagarlas solamente después de 15 a 30 minutos de desocupación del local. No es rentable apagarlas en casos de ausencias cortas, dado que se disminuye la vida útil de las lámparas. En todos los otros casos, se recomienda apagarlas.

El tercer paso consiste en instalar alguno de los sistemas de gestión y control descritos a continuación. Sin embargo, se debe cuidar que el sistema elegido siga dejando la libertad a los usuarios de encender y apagar las luminarias cuando así lo requieran.

## **7.2.2 Seccionamiento de circuitos**

Algunos diseños de sistemas de iluminación contemplan varias luminarias en un mismo circuito, uno por piso por ejemplo o por local. En el caso de una nave industrial, puede ser interesante seccionar los circuitos de iluminación para poder encender o apagarlos de manera separada. No es energéticamente eficiente dejar encendida toda la nave si solamente una línea de producción o zona de ensamble trabaja durante la noche.

Es una medida que requiere poca inversión (cableado, contactos e interruptores adicionales) pero si de una planeación adecuada para no afectar el funcionamiento general de la instalación.

## **7.2.3 Gestión horaria**

En los edificios con horario de trabajo fijo, un interruptor horario o temporizador puede controlar el encendido y/o apagado del sistema de iluminación, para ciertas zonas o para todas las instalaciones. Se recomienda programar solamente el horario de apagado, por ejemplo a la hora de la comida, si este horario es fijo o a la hora de la salida, dejando la posibilidad al usuario de volver a encender la luz, si necesario.

**Figura 55 Interruptor horario**



Habrá que tomar precauciones de no cortar el 100% del sistema de iluminación, dejando algunas luces encendidas, las de emergencia por ejemplo, para la salida del personal.

## **7.2.4 Detector de presencia**

En ciertos casos, es más rentable invertir en un detector de presencia (sensores de presencia) que en la renovación de las lámparas. La inversión requerida es mucho menor y los ahorros son inmediatos. Estos dispositivos encienden la luz sólo cuando detectan movimiento, con lo que se evitan desperdicios de energía al dejar los equipos de iluminación operando en lugares y tiempos en los que no se requieren.

**Figura 56 Detectores de presencia**



Se recomienda instalar detectores de presencia en los locales que se ocupan ocasionalmente como las salas de juntas, los cuartos de archivos muertos, baños o en ciertos pasillos poco transitados, escaleras de emergencia, etc. En estos dos últimos casos, se recomienda instalar también un temporizador.

La rentabilidad de un detector de presencia dependerá de:

- La reducción de las horas de funcionamiento
- La potencia eléctrica que deja de ser requerida con la instalación del detector
- La presencia de balastos electromagnéticos. En efecto, como mencionado antes, la vida útil de las lámparas fluorescentes disminuye drásticamente con la cantidad de encendidos.
- El costo del kWh en el periodo donde permanecen apagadas las luminarias

Cuidado, recordaremos que, de manera general, todas las acciones que prevén una secuencia de encendido y apagado no son recomendadas cuando se trata de lámparas de descarga, en particular a alta presión, debido a que requieren de un cierto tiempo para enfriarse después de apagarse. Al querer encenderla nuevamente, el balastro manda una tensión elevada a los electrodos de la lámpara pero esta tensión no es suficiente para encender la lámpara mientras ésta está caliente. Las lámparas de descarga a alta presión deben ser encendidas por 8 a 12hr continuas, un ciclo de encendido de solamente 3 horas provoca una disminución de su vida útil de 50%.

Con este tipo de lámparas, la manera de optimizar su funcionamiento es jugando con el flujo luminoso, disminuyéndolo cuando se desocupa el área.

### **7.2.5 Fococeldas**

Se puede conseguir ahorros energéticos significativos al controlar el sistema de iluminación en función de la cantidad de luz natural. Las fotoceldas son dispositivos sensibles a la luz, dado que ésta, al incidir sobre la fotocelda, genera una diferencia de potencial, la cual es utilizada para generar una señal que enciende o apaga el alumbrado. Se utilizan, principalmente, para el alumbrado exterior. Los ahorros se logran al evitar que durante el día, cuando se cuenta con suficiente luz, se encuentre encendido el alumbrado.

El sistema regula la intensidad de luz de la lámpara (con un balastro dimeable) manteniendo un nivel luminoso constante. Es preferible instalar balastro dimeable que un control ON / OFF, para asegurar el confort visual de los ocupantes.

**Figura 57 Fotoceldas**



Fuente: [www.energieplus.be](http://www.energieplus.be)

Varios sistemas automáticos están disponibles en el mercado, por lámpara, por grupo de lámparas, por local, etc.

Como en el caso del aprovechamiento de la luz natural descrito en la sección 7.1, las fórmulas para calcular los ahorros en potencia y energía son las siguientes:

El ahorro en potencia  $A_{pot}$ , expresado en Watt, es:  $A_{pot} = N_{apagadas} \times (P_{lam})$

El ahorro de energía  $A_{en}$ , expresado en Wh, es:  $A_{en} = A_{pot} \times H_{anual}$

## 7.3 Mantenimiento adecuado

### 7.3.1 Disminución del rendimiento

El envejecimiento de un sistema de iluminación se refleja a través de la pérdida progresiva de rendimiento y la aparición, después de cierto tiempo, de fallas en las lámparas. La disminución de rendimiento proviene de:

- La disminución del flujo luminoso del orden de 7 a 50% al término de la vida útil de las lámparas
- La disminución del rendimiento de las luminarias, vinculada a la acumulación de polvo y a la aparición amarilla de los reflectores y difusores, del orden de 5 a 26% en un local en el cual se limpie las luminarias cada 3 años.
- La reducción de los factores de reflexión del local

## 7.3.2 Programa de mantenimiento

Como cualquier mantenimiento, el objetivo es restituir al sistema parte de su rendimiento inicial. El programa de mantenimiento que se sugiere implantar en todas las instalaciones de mantenimiento puede ser de 3 tipos:

### 7.3.2.1 Mantenimiento preventivo

- Procedimiento: remplazar una sola vez todas las lámparas a intervalos de tiempo regular
- Ventaja: facilita el mantenimiento
- Inconveniente: puede haber por tiempo prolongado lámparas fundidas al hacer los remplazos a intervalos de tiempo definidos

### 7.3.2.2 Mantenimiento correctivo

- Procedimiento: remplazar las lámparas cada vez que se fundan
- Ventaja: nunca hay lámpara fundidas
- Inconveniente: el sistema de iluminación se mantiene un nivel de iluminación promedio que generalmente conduce a un sobredimensionado de la instalación. Adicionalmente, el personal de mantenimiento debe estar listo para intervenir en cualquier momento.

### 7.3.2.3 Mantenimiento mixto

- Procedimiento: combinación de los dos programas de mantenimiento anteriores
- Ventaja: no hay lámparas fundidas y el sistema mantiene un nivel de iluminación adecuado
- Inconveniente: el personal de mantenimiento debe poder remplazar las lámparas en cualquier momento

Cada uno de estos programas tiene sus ventajas y desventajas. La selección de uno dependerá del tipo de luminarias instaladas, la disponibilidad el personal de mantenimiento, los costos asociados, etc.

Por ejemplo, en caso de un edificio con una gran cantidad de luminarias, es más económico no remplazarlas una por una cada vez que se funda pero esperar al terminó de la vida útil y programar la sustitución sistemática de todas las lámparas durante un servicio de mantenimiento por ejemplo.

En el caso de lámparas fluorescentes, una vez que se ha fundido alguna lámpara, se deberá cambiar inmediatamente, porque aun cuando son luminarias de dos lámparas y una continúa funcionando, la energía no disminuye porque el balastro sigue consumiendo energía.

### **7.3.3 Limpieza de luminarias y áreas**

El plan de mantenimiento debe incluir también la programación de las tareas de limpieza general de los equipos y conservación de las instalaciones.

El polvo se acumula sobre las luminarias y las paredes de las áreas, por lo que es recomendable una limpieza semestral tanto de las lámparas como de las luminarias. En efecto, después de un año sin limpieza, la afectación del nivel de iluminación puede llegar al 10 o 15%.

Se debe contemplar adicionalmente la limpieza regular de las ventanas, domos, cortinas así como la pintura anual de las paredes en un color claro.

## **7.4 Sustitución tecnológica**

### **7.4.1 Renovación parcial o renovación completa**

La renovación parcial consiste en solamente sustituir los equipos de eficiencia baja, sea las lámparas, los balastros o bien los reflectores o difusores sin afectar mucho la instalación existente, es decir sin desmontar luminarias, cableado ni sistemas de control. La renovación parcial no requiere de mucha inversión y es rápida de implantar. Sin embargo, al no cambiar la luminaria, es necesario revisar muy bien las características de las nuevas lámparas. Por ejemplo, un tubo de LED que sustituya un tubo fluorescente no tendrá la misma distribución del flujo luminoso.

Una renovación completa del sistema de iluminación es más cara pero también implica mayores ahorros energéticos. Permite ampliar las opciones de “relamping” al no cambiar solamente la tecnología de la lámpara sino también la de la luminaria y hasta, si es posible modificar el plafón, el sembrado de las luminarias en el local.

## 7.4.2 Reemplazo de lámparas

### 7.4.2.1 Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes se pueden sustituir por lámparas halógenas cuando es importante tener un índice de rendimiento de color cerca de 100. El ahorro de energía esperado es del orden de 30%. Aunque las lámparas halógenas son un poco más caras que las incandescentes, es hoy en día la solución de bajo consumo más barata en el mercado.

Una mejor solución consiste en reemplazar la lámpara incandescente (rendimiento luminoso de 10 a 12 lm/W) por una fluocompacta (rendimiento luminoso de 100 lm/W). Dado que el flujo luminoso disminuye mucho durante la vida útil de la lámpara fluocompacta, se recomienda instalar una de un flujo luminoso un poco mayor que el de la incandescente.

Finalmente la mejor opción es la LED, aunque más cara, su vida útil es mucho más larga (20,000 hrs vs. 1000 hrs), cuenta con una cantidad casi infinita de encendido y apagado así como una mejor resistencia a los cambios de temperatura.

Figura 58 Opciones de sustitución de lámparas incandescentes



### 7.4.2.2 Lámparas halógenas

Las lámparas halógenas pueden ser reemplazadas por algunos modelos similares más eficientes y por lámparas LED.

Figura 59 Opciones de sustitución de lámparas halógenas



#### 7.4.2.3 Tubos fluorescentes

Los tubos T12 pueden ser reemplazados directamente por T8, tienen el mismo largo, el mismo casquillo y utilizan el mismo balastro. Se mejora el rendimiento luminoso de 10%.

Los tubos T8 pueden ser reemplazados por T5, aunque no tienen el mismo largo, se venden los T5 en unos kits para sustituir directamente los T8, se mejora de 10% el rendimiento luminoso.

Una alternativa para la sustitución de los T8 es el tubo LED. Cuenta con un consumo más bajo, un vida útil más larga y es menos sensible a los ciclos de encendidos y apagados. En este caso, se sustituye el conjunto tubo y balastro por la LED y el driver integrado. Habrá que tener cuidado solamente con el modelo de luminaria donde se instala la LED dado que podría cambiar la fotometría y crear molestias por deslumbramiento.

Figura 60 Opciones de sustitución de tubos fluorescentes



#### 7.4.2.4 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Las lámparas de vapor de mercurio a alta presión pueden ser sustituidas por otras lámparas de descarga como las de vapor de sodio. Sin embargo, se debe cuidar que:

- La temperatura de color y el IRC de la nueva lámpara sean similares a la original para conservar uniformidad en el estilo. Es mejor cambiar todas las lámparas de una misma área pero requiere mayor inversión inicial.

- En el caso de la lámpara de vapor de sodio, se requiere cambiar también el balastro y el starter. Existen kits de conversión incluyendo balastro y starter para facilitar esta sustitución.

#### 7.4.2.5 Lámpara de vapor de sodio

Existe en el mercado lámpara de aditivos metálicos que pueden sustituir directamente, es decir sin tocar el balastro y el starter, las lámparas de vapor de sodio o de vapor de mercurio. Con esto, se mejora:

- El rendimiento luminoso en caso de una lámpara de vapor de mercurio
- El IRC y la temperatura de color, se mejora el confort visual

**Figura 61** Sustitución de lámpara de vapor de sodio por aditivos metálicos



#### 7.4.3 Reemplazar los balastos electromagnéticos

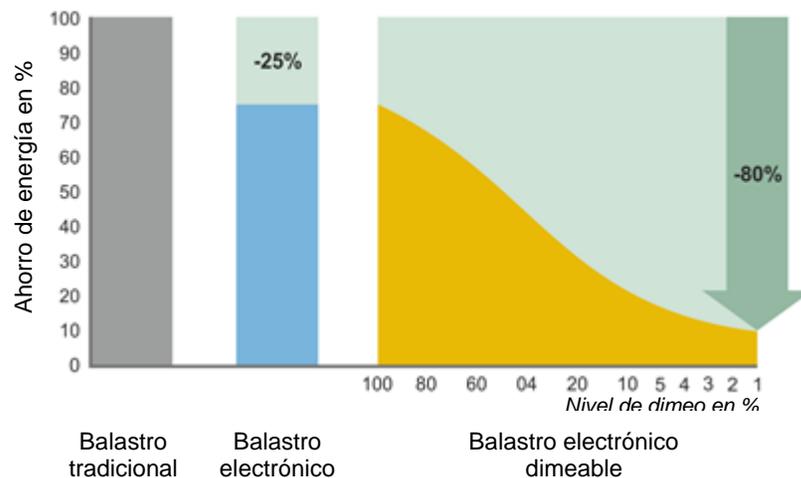
Los balastos tradicionales o electromagnéticos (también llamados inductivos) tienen un consumo de energía equivalente al 20% del consumo de la lámpara fluorescente.

Los balastos electrónicos tienen menos pérdidas (del orden del 10% de la potencia de la lámpara). Con algunas lámparas fluorescentes, hasta logran disminuir la potencia consumida, mejorando su eficiencia energética.

Los balastos electrónicos dimeables (se puede hacer variar la potencia de la lámpara) asociados a un sistema de control con fotoceldas pueden contribuir a reducir el consumo de energía.

Como lo muestra la gráfica siguiente, no hay proporcionalidad lineal entre el nivel de dimming y el consumo de energía.

Figura 62 Ahorro de energía por dimming



En conclusión, el remplazo de los balastos electrónicos por balastos electrónicos dimeables no es rentable. Remplazar los balastos electromagnéticos en una instalación existente permite ahorrar un 20% de energía.

#### 7.4.4 Remplazar los reflectores de la luminaria

El principio del retrofit consiste en conservar el armazón de la luminaria y sustituir el balastro y el reflector. Esta acción no disminuye el consumo de energía como tal (la potencia eléctrica instalada es la misma), sin embargo, contribuye a mejorar el rendimiento de la luminaria, por lo cual es recomendable disminuir la potencia de la misma, al retirar ciertas lámparas de la luminaria.

Figura 63 Comparativo con o sin reflector

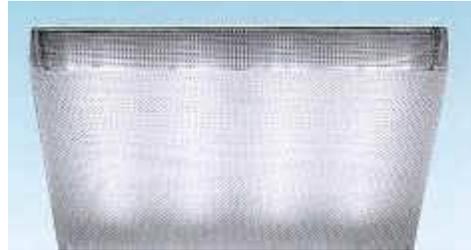


El rendimiento de una luminaria se ve afectado cuando una parte importante de la luz emitida es absorbida por el plafón, el reflector o el difusor.

**Figura 64 Ausencia de reflector (pérdidas = 50%)**



**Figura 67 Difusor prismático (pérdidas = 60%)**



**Figura 65 Reflector pintado de blanco (pérdidas = 50%)**



**Figura 68 Difusor color opalino (pérdidas = 70%)**



**Figura 66 Difusor con micro rejilla (pérdidas = 75%)**



**Figura 69 Luminaria indirecta (pérdidas = 50%)**



## 7.5 Resumen

Analizar situación actual	Medida de ahorro de energía a estudiar	Rentabilidad
El nivel de iluminación es inferior a lo requerido por normatividad	Reemplazar las lámparas por unas de mayor potencia, instalar reflectores y difusores adecuados.	N/A
El nivel de iluminación es superior a lo requerido por normatividad. ¿La totalidad de las lámparas son requeridas para el confort visual?	Quitar lámparas de las luminarias.	+++
¿Se está aprovechando la luz natural?	Despejar ventanas y domos para dejar entrar la luz natural, instalar cortinas para controlarla. Instalar domos.	++
¿El color de las paredes y plafones es claro?	Pintar las paredes de color claro. El nivel de iluminación puede disminuir de 20% con colores oscuros.	+
¿Hay evidencia de presencia de polvo en las lámparas y luminarias (polvo, color amarillento)?	Realizar limpieza y mantenimiento. Una falta de limpieza disminuye de 10 a 15% el nivel de iluminación	++
Las luminarias son eficientes, es decir no hay tubos fluorescentes sin reflector o con reflectores pintados de blanco, difusor de color opaco o prismático	Reemplazar los reflectores y difusores por los adecuados.	+ Mejora del confort visual: el rendimiento de las luminarias puede incrementarse hasta 75%.
¿Las lámparas fluorescentes cuentan con balastos electrónicos?	Reemplazar los balastos electromagnéticos por balastos electrónicos.	+ Ahorro aprox. del 20%.
¿Las lámparas utilizadas son eficientes?	Sustituir los tubos fluorescentes T12 por T8 o T5	+++ Ahorro entre 10% y 15%, tiempo de retorno de 2 años aprox.

	Sustituir las lámparas incandescentes por fluocompactas.	+++ Ahorro del 40 al 70%, tiempo de retorno de 1 a 3 años.
	Sustituir las lámparas incandescentes por lámparas LED.	+ Por el costo de las lámparas LED.
	Sustituir lámparas fluocompactas por lámparas LED.	++ Por el costo de las lámparas LED.
<p>¿El alumbrado está apagado en los locales desocupados?</p> <p>¿En un local grande, es posible controlar el alumbrado por zona de actividades?</p>	Instalar detectores de presencia en los locales poco ocupados (salas de juntas,...).	++ Tiempo de retorno de 2 a 4 años (según si necesario instalar balastos electrónicos).
	Seccionar los circuitos de iluminación por zonas de mismo nivel de iluminación. Separar el control de las luminarias cercanas a las ventanas.	+
	Instalar un sistema de control centralizado en base a horarios de operación.	++
	Organizar una campaña de sensibilización destinada a los usuarios.	++
¿Es posible controlar el alumbrado de acuerdo a la cercanía de las lámparas instaladas con las ventanas?	Instalar un sistema de control que permita dimear automáticamente las lámparas en función de la luz natural captada por unas fotoceldas. (se requiere cambiar los balastos electromagnéticos por balastos electrónicos dimeables)	+ Ahorros de 35 a 45% (según si los balastos originales son electromagnéticos).
¿Se controla el funcionamiento del alumbrado exterior?	Regular alumbrado exterior en función de una programación horaria, fotoceldas, detectores de presencia, etc.	+++

En resumen, la rentabilidad de una tecnología de iluminación también depende de la intensidad de uso del equipo. Un equipo de nueva tecnología, por ejemplo LED, que solo es usado un par de horas al día no alcanzará a rentabilizar su inversión, por lo que otras tecnologías menos costosas pueden ser la solución.

En necesario en ciertos casos hacer un análisis más profundo dado que un cambio tecnológico implica durabilidad, menor mantenimiento y mayor calidad de la luz, lo que a la larga puede ser más rentable que la tecnología obsoleta.

La eficiencia energética en la iluminación no solo depende de la lámpara, sino de otros componentes como la luminaria y los controles asociados que permiten mantener encendido el equipo en las condiciones de uso ideales. Existen varias medidas de ahorro de energía que se pueden implementar sin invertir mucho pero que permiten usar el alumbrado solamente en las horas requeridas.

## 8 Ejemplos

En esta sección, se desarrollarán algunos ejemplos de lo explicado a lo largo de este documento para poner en práctica las medidas de ahorro de energía.

### 8.1 Retrofit de tubos fluorescentes

El “retrofit” consiste en el cambio de elementos lumínicos o lámparas uno a uno empleando el mismo gabinete e instalaciones, cambiando solamente el balastro cuando aplica.

Supóngase una instalación de oficinas que posee 53 luminarias con tubos fluorescentes tipo T-12 en arreglo de 4 x 39W y se pretende el cambio por el sistema que más convenga:

- tubos fluorescentes T-8 de 32W,
- tubos fluorescentes T-5 de 21W o
- tubos LED de 18 W

Paso 1: se calcula la cantidad total de lámparas:

$$53 \text{ luminarias} \times 4 \text{ lámparas c/u} = 212 \text{ lámparas}$$

Paso 2: se calcula la potencia de cada caso mediante la ecuación 3

$$P_{lam \text{ total}} = P_{lam} \times F_b$$

Los balastros actuales son electromagnéticos, consumo el equivalente al 15% del consumo de la lámpara, los balastros electrónicos reduce de 10% el consumo. Las lámparas LED no tienen balastros.

Potencia total actual instalada	=	212 lamp x 39W x 1.15	=	9,508.2 W
Potencia total con T-8	=	212 lamp x 32W x 0.9	=	6,105.0 W
Potencia Total con T-5	=	212 lamp x 21W x 0.9	=	4,006.8 W
Potencia total con LED	=	212 lamp x 18W x 1	=	3,816.0 W

Paso 3: se compara las ventajas e inconvenientes de cada opción:

- a) *Sistema actual:* Obsoleto, las T-12 ya no se fabrican.
- b) *T-8:* Se pueden instalar en los mismos gabinetes pues tienen la misma longitud que los T-12, sólo exige el cambio de balastro de cada unidad (53 balastros).
- c) *T-5:* No se pueden instalar en los mismos gabinetes pues poseen longitudes menores que exigirían adaptaciones hechizas. Además del balastro, debe considerarse el costo de nuevas luminarias (53 unidades).

- d) *Tubos LED*: por ser tipo T-8 pueden instalarse en los luminarios actuales y no requiere balastro.

Paso 4: se estiman los montos de inversión:

- a) *Sistema actual*: N/A  
b) *T-8*: Costo por tubo de \$100, Costo balastro de \$250:  $212 \times \$100 + 53 \times \$250 = \$34,450$   
c) *T-5*: Costo por tubo de \$150, Costo balastro de \$250, Costo Luminaria de \$600:  
 $212 \times \$150 + 53 \times \$250 + 53 \times \$600 = \$76,850$   
d) *Tubos LED de 18W*: Costo por tubo = \$800, Costo balastro \$0:  $212 \times \$800 = \$169,600$

Paso 5: se estiman los costos operativos anuales, considerando un precio medio de electricidad de 1.90 \$/kWh y 12hrs de funcionamiento continuo, 5 días a la semana, 50 semanas al año, lo que da:  $5 \times 50 = 250$  días por año.

El costo operativo corresponde a la multiplicación entre la potencia del conjunto de luminarias (calculado en el paso 2), las horas de operación anuales y el precio medio de energía. Se divide por 1000 para pasar de W a kW.

En este ejemplo, no se toman en cuenta los costos de mantenimiento anuales y costos por reposición de lámparas, considerando que tienen una vida útil similar.

- a) *Sistema actual*: Costo operativo =  $9,508.2W \times 12 \times 250 \times \$1.90 / 1000 = \$54,197$  anuales  
b) *T-8*: Costo operativo =  $6,105.0W \times 12 \times 250 \times \$1.90 / 1000 = \$34,802$  anuales  
c) *T-5*: Costo operativo =  $4,006.8W \times 12 \times 250 \times \$1.90 / 1000 = \$22,839$  anuales  
d) *Tubos LED 18W*: Costo operativo =  $3,816.0W \times 12 \times 250 \times \$1.90 / 1000 = \$21,751$  anuales

Paso 6: Se calculan los ahorros correspondientes al comparar los costos operativos anuales de cada opción contra la situación actual:

- a) *Sistema actual*: N/A  
b) *T-8*: Ahorro anual =  $\$54,197 - \$34,802 = \$19,395$  (36%)  
c) *T-5*: Ahorro anual =  $\$54,197 - \$22,839 = \$31,358$  (58%)  
d) *Tubos LED 18W*: Ahorro anual =  $\$54,197 - \$21,751 = \$32,446$  (60%)

Paso 7: se calcular el retorno simple sobre la inversión, al dividir la inversión entre los ahorros anuales:

- a) *Sistema actual*: N/A  
b) *T-8*: TRS = 1.8 años  
c) *T-5*: TRS = 2.5 años  
d) *Tubos LED 18W*: TRS = 5.2 años

**Paso 8:** la toma de decisión corre a cargo del beneficiario de la inversión, pero es labor del consultor orientarle sobre la observancia de otros factores como son:

- Radiación UV (FL sí, LED no)
- Radiación IR (FL sí, LED no)
- Vapor de mercurio (FL sí, LED no)
- Temperatura de operación
- Calor disipado por el sistema elegido
- IRC
- Temperatura de color
- Otros inherentes a las condiciones y naturaleza de la instalación.

A continuación, resumimos los datos de este ejemplo.

**Tabla 15 Resumen comparativo T8, T5 y LED vs. T12**

	<b>T12</b>	<b>T8</b>	<b>T5</b>	<b>LED</b>
Cantidad lámparas / luminarias	4	4	4	4
Cantidad luminarias	53	53	53	53
Cantidad de balastos	53	53	53	0
Potencia lámparas (W)	39	32	21	18
<b>Potencia total (W)</b>	<b>9,508.20</b>	<b>6,105.60</b>	<b>4,006.80</b>	<b>3,816.00</b>
Costo lámpara	\$ -	\$ 100	\$ 150	\$ 800
Costo balastro	\$ -	\$ 250	\$ 250	\$ -
Costo luminaria	\$ -	\$ -	\$ 600	\$ -
<b>Costo de Inversión</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 34,450</b>	<b>\$ 76,850</b>	<b>\$ 169,600</b>
Costo promedio de energía	\$ 1.90	\$ 1.90	\$ 1.90	\$ 1.90
Hrs de funcionamiento por día	12	12	12	12
Días por año	250	250	250	250
Costos operativos anuales	\$ 54,197	\$ 34,802	\$ 22,839	\$ 21,751
<b>Ahorros anuales</b>		<b>\$ 19,395</b>	<b>\$ 31,358</b>	<b>\$ 32,446</b>
		<b>36%</b>	<b>58%</b>	<b>60%</b>
<b>Tiempo de retorno</b>		<b>1.8</b>	<b>2.5</b>	<b>5.2</b>

**Conclusión:** la opción en la cual se reemplaza las lámparas T12 por T8 parece ser la más rentable económicamente. Al considerar los costos de reposición en este ejercicio, se

incrementaría un poco el tiempo de retorno de la opción con T8 y T5 frente al tiempo de retorno de la opción con LED.

## 8.2 Retrofit de lámpara incandescente según potencia

En este ejemplo, se ha realizado un comparativo para diferentes tipos de lámparas considerando como partida la lámpara incandescente:

- Inc.: incandescentes
- Hal.: halógena
- BC: bajo consumo fluocompacta
- LED: lámpara LED

Al contrario del ejemplo anterior, se consideran los costos de reposición de las lámparas al comparar la inversión y costos operativos a lo largo de la vida útil de cada lámpara. Para poder hacer un comparativo entre tecnologías, se calculan todos estos costos para 1 año.

Paso 1: se calcula el consumo anual de energía, multiplicando la potencia en W de la lámpara por las horas de operación anual (1h por día, 365 días del año). Se convierte el resultado a kWh al dividir por 1000.

Paso 2: se calcula el costo de energía anual, al multiplicar el consumo anual de energía por el precio medio de electricidad (2.2 \$/kWh)

Paso 3: Se divide el valor en horas de la vida útil de cada opción por el tiempo de funcionamiento anual (365h/año) para obtener la cantidad equivalente de años de vida útil de cada lámpara:

Paso 4: se calcula el costo de compra anual, al dividir el costo de compra de cada lámpara por la cantidad de años de vida útil de cada lámpara.

Paso 5: se calcula el costo total por año al sumar el costo de compra y el costo operativo

Paso 6: se calcula el tiempo de retorno simple al dividir el costo total de la lámpara de referencia de este ejercicio, incandescente, por el costo total de cada opción.

Paso 7: se calculan los ahorros económicos sobre la vida útil de cada lámpara, al restar el costo total anual de la opción incandescente del costo total de cada opción y multiplicar esta resta por la vida útil en años de cada opción de lámpara.

Paso 8: se calculan los ahorros energéticos sobre la vida útil de cada lámpara, al restar el consumo anual de la opción incandescente del consumo anual de cada opción y al multiplicar esta resta por la vida útil en años de cada opción de lámpara.

Potencia lámpara	40 W				60 W				75 W				100 W			
Tipo de lámpara	Inc.	Hal.	BC	LED	Inc.	Hal.	BC	LED	Inc.	Hal.	BC	LED	Inc.	Hal.	BC	LED
Potencia eléctrica (W)	40	28	9	8	60	48	13	10	75	55	15	12	100	70	20	15
Potencia luminosa (lm)	415	440	405	500	720	630	720	810	840	820	850	910	1200	1200	1350	1300
Consumo/año (1h/día) (kWh)	14.6	10.2	3.3	2.9	21.9	17.5	4.7	3.7	27.4	20.1	5.5	4.4	36.5	25.6	7.3	5.5
Costo eléctrico anual (\$)	32.1	22.5	7.2	6.4	48.2	38.5	10.4	8.0	60.2	44.2	12.0	9.6	80.3	56.2	16.1	12.0
Precio de compra (\$)	23	39	119	174	25	43	164	257	30	45	164	267	30	60	251	329
Vida útil (h)	900	2000	8000	30000	1000	2000	8000	30000	1000	2000	8000	30000	1000	2000	8000	30000
Vida útil (año)	2.5	5.5	21.9	82.2	2.7	5.5	21.9	82.2	2.7	5.5	21.9	82.2	2.7	5.5	21.9	82.2
Costo de compra/año (\$)	9.2	7.1	5.4	2.12	33.0	7.8	7.5	3.13	11.0	8.2	7.5	3.25	11.0	11.0	11.5	4.00
Costo total/año (\$)	41.3	29.6	12.7	8.54	81.2	46.3	17.9	11.16	71.2	52.4	19.5	12.89	91.3	67.2	27.5	16.05
Tiempo de retorno simple (año)	-	1.4	3.4	4.6	-	0.5	2.2	3.3	-	0.8	2.6	4.1	-	1.2	3.5	4.0
Ahorro sobre la vida útil (\$)	-	64.0	627.6	2691.6	-	60.3	863.2	3793.1	-	103.0	1132	4790.8	-	132.0	1397	6181.1
Energía ahorrada en la vida útil de la lámpara (kWh)	-	24	248	960	-	24	376	1500	-	40	480	1890	-	60	640	2550
kgCO <sub>2</sub> ahorrados (kgCO <sub>2</sub> )	-	12	124	480	-	12	188	750	-	20	240	945	-	30	320	1275

### 8.3 Renovación completa de luminarias

En este ejemplo, se propone una renovación completa del sistema de iluminación al considerar las siguientes acciones:

- Una sustitución de tecnología de T12 por T8
- El cambio de luminarias que implica la adición de un reflector y el cambio de 2 lámparas por luminaria a una sola
- El cambio de balastro electromagnético por un balastro electrónico
- La reducción de la cantidad de luminarias al optimizar la disposición de las luminarias en el plafón
- La instalación de un control de iluminación (balastro dimeable) con fotoceldas

A continuación, se presentan los resultados de esta renovación

	 <b>Antes ...</b>	 <b>Después ...</b>
Tipo de luminaria	Tubos sin reflector, 2 x 40 W	Reflector con espejo, 1 x 58 W
Tipo de lámpara	40 W, T12	58 W, T8
Tipo de balastro	Electromagnético	Electrónico
Número de luminarias	72	60
Potencia instalada	7,7 kW	3,3 kW
Rendimiento luminoso (incluyen balastro)	39 lm/W	94 lm/W
Sistema de control	manual	Dimeable con fotoceldas
Nivel de iluminación obtenido a 0.9 m del piso	90 lux	280 lux

Consumo de electricidad anual	15 500 kWh/año	5 800 kWh/año
Ahorro de energía total	-	63 %
Ahorro de energía por gestión	-	20 %
Inversión	-	\$118,125
Ahorros económicos	-	39,375 \$/año
Tiempo de retorno simple	-	3 años

## Bibliografía

- Artículo “Lámparas y luminarias” de la sección AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA, revista ENERGÍA HOY, ejemplar de Abril 2015, Jerome Penarroya
- Guía Iluminación Eficiente en comercios, CONUEE, [http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/sistemas\\_de\\_iluminacion](http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/sistemas_de_iluminacion)
- NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, condiciones de iluminación en centros de trabajo, <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-025.pdf>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales [http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6933/19/NOM\\_007\\_ENER\\_2014.pdf](http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6933/19/NOM_007_ENER_2014.pdf)
- NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012. Instalaciones Eléctricas (utilización), [http://www.sener.gob.mx/res/Acerca\\_de/29112012-VES.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/Acerca_de/29112012-VES.pdf)
- NORMA Oficial Mexicana NOM-058-SCFI-1999, Productos eléctricos-Balastos para lámparas de descarga eléctrica en gas-Especificaciones de seguridad. [http://www.conuee.gob.mx/pdfs/iluminacion/4\\_NOM\\_058\\_SCFI\\_1999.pdf](http://www.conuee.gob.mx/pdfs/iluminacion/4_NOM_058_SCFI_1999.pdf)
- NORMA Oficial Mexicana NOM-064-SCFI-2000, Productos eléctricos-Luminarios para uso en interiores y exteriores-Especificaciones de seguridad y métodos de prueba. [http://www.ance.org.mx/ie/documentos/fofamnom064scfi\\_e7jul05.pdf](http://www.ance.org.mx/ie/documentos/fofamnom064scfi_e7jul05.pdf)
- NORMA Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2010, Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5169747&fecha=06/12/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5169747&fecha=06/12/2010)
- Página web: EnergiePlus /éclairage [www.energieplus.be](http://www.energieplus.be)

## Anexo 1 Niveles de iluminación NOM-025-STPS-2008

Los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en los centros de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la **NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008**, se presentan en la siguiente Tabla 1.

**Tabla 16 Niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo**

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	<b>20</b>
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.	<b>50</b>
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	<b>100</b>
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	<b>200</b>
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.	<b>300</b>
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	<b>500</b>

de laboratorio.		
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.	<b>750</b>
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.	<b>1,000</b>
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; exactas y muy prolongadas, y muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño.	<b>2,000</b>

## Anexo 2 Tablas de eficiencia NOM-007-ENER-2014

Esta Norma Oficial Mexicana tiene como finalidad establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado con que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes; con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica.

El campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana comprende los sistemas de alumbrado interior y exterior de los edificios no residenciales, nuevos, con carga total conectada para alumbrado mayor o igual a 3 kW; así como a las ampliaciones y modificaciones de los sistemas de alumbrado interior y exterior con carga conectada de alumbrado mayor o igual a 3 kW de los edificios existentes.

En particular, los edificios cubiertos por la presente Norma Oficial Mexicana son aquellos cuyos usos autorizados en función de las principales actividades y tareas específicas que en ellos se desarrollen, queden comprendidos dentro de los siguientes tipos:

- a) Oficinas
- b) Escuelas y demás centros docentes
- c) Establecimientos comerciales
- d) Hospitales
- e) Hoteles
- f) Restaurantes
- g) Bodegas
- h) Recreación y cultura
- i) Talleres de servicio
- j) Centrales de pasajeros

Para ampliaciones o modificaciones de edificios no residenciales ya existentes, la aplicación de esta Norma Oficial Mexicana queda restringida exclusivamente a los sistemas de alumbrado de dicha ampliación o modificación y no a las áreas construidas con anterioridad.

Los valores de DPEA que se incluyen en este apéndice, tienen como único fin el de orientar sobre los desgloses de los espacios que en diferentes tipos de edificios, de acuerdo con su uso, se están analizando para ser considerados a futuro como valores máximos permitidos de DPEA en las normas.

**Tabla 17 Densidades de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA)**

<b>Tipo de edificio</b>	<b>DPEA (W/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Oficinas</b>	
Oficinas	12
<b>Escuelas y demás centros docentes</b>	
Escuelas o instituciones educativas	14
Bibliotecas	15
<b>Establecimientos comerciales</b>	
Tiendas de autoservicio, departamentales y de especialidades	15
<b>Hospitales</b>	
Hospitales, sanatorios y clínicas	14
<b>Hoteles</b>	
Hoteles	12
Moteles	14
<b>Restaurantes</b>	
Bares	14
Cafeterías y venta de comida rápida	15
Restaurantes	14
<b>Bodegas</b>	
Bodegas o áreas de almacenamiento	10
<b>Recreación y Cultura</b>	
Salas de cine	12
Teatros	15
Centros de convenciones	15
Gimnasios y centros deportivos	14
Museos	14
Templos	14
<b>Talleres de servicios</b>	

Talleres de servicio para automóviles	11
Talleres	15
<b>Carga y pasaje</b>	
Centrales y terminales de transporte de carga	10
Centrales y terminales de transporte de pasajeros, aéreas y terrestres	13

**Tabla 18 Valores de DPEA para diferentes espacios pertenecientes a diferentes tipos de edificios**

Tipo de espacio específico	DPEA (W/m <sup>2</sup> )
Almacén médico (hospital)	13.67
Área de casilleros	8.07
Área de equipaje Centrales / aeropuertos	8.18
Área de lectura (biblioteca)	10.01
Área de exhibición (centro de convenciones)	15.61
Áreas de ventas	18.08
Asientos auditorio	8.50
Asientos centro de convenciones	8.83
Asientos estadios	4.63
Asientos templos	16.47
Aulas	13.35
Bancos	14.85
Bar	14.10
Bodegas	6.78
Bodegas para material frágil	10.23
Cafetería (hospital)	11.52
Catálogo de biblioteca	7.75
Celdas de centros de readaptación (penales)	11.84
Consultorios	17.87

Enfermería (hospital)	9.47
Escaleras	7.43
Estacionamiento	2.05
Estantes de biblioteca	18.41
Farmacia (hospital)	12.27
Gimnasio	12.92
Habitaciones de hospital	6.67
Habitaciones de hotel	11.95
Juzgado	12.59
Laboratorio escolar	13.78
Laboratorio médico, industrial, investigación	19.48
Lavandería (hospital)	6.46
Manufactura detallada industria	13.89
Oficina abierta	10.55
Oficina cerrada	11.95
Oficina postal	10.12
Pasillo central (templos)	6.89
Pasillos	7.10
Pasillos fábricas / industria	4.41
Pasillos hospital	9.58
Preparación de comida	10.66
Probadores de tiendas	9.36
Pulpito, coro (templos)	16.47
Radiología e imagen (hospital)	14.21
Recuperación (hospital)	12.38
Restauración (museos)	10.98
Restaurante	9.58
Restaurante de hotel	8.83

Salas de cine sección de asientos	12.27
Salas de exhibición (museos)	11.30
Salas de juntas	13.24
Salas de lectura	13.35
Teatro sección de vestidores (camerinos)	4.31
Tiendas de autoservicio	11.84
Salas de usos múltiples	13.24
Salas de capacitación	13.35
Sanitarios	10.55
Talleres	17.11
Talleres de servicio automotriz	7.21
Teatro sección de asientos	26.16
Terapia física (hospital)	9.80
Terminal centrales / aeropuertos	11.63
Urgencias (hospital)	24.33
Vestíbulo	9.69
Vestíbulo de cine	5.60
Vestíbulo de elevador	6.89
Vestíbulo de hotel	11.41
Vestíbulo de teatro	21.53

## Anexo 3 Sello FIDE

El Fideicomiso para el ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), es un Fideicomiso privado, sin fines de lucro, constituido el 14 de agosto de 1990, por iniciativa de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en apoyo al Programa de Ahorro de Energía Eléctrica; para coadyuvar en las acciones de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica (ver <http://www.fide.org.mx/>)

Entre sus objetivos está la de realizar acciones que permitan inducir y promover el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en industrias, comercios y servicios, MPyMEs, municipios, sector residencial y agrícola. El FIDE presta servicios de asistencia técnica a los consumidores, para mejorar la productividad, contribuir al desarrollo económico, social y a la preservación del medio ambiente.

Entre sus apoyos técnicos se encuentra el Sello FIDE; el cual es un distintivo que se otorga a productos que inciden directa o indirectamente en el ahorro de energía eléctrica. Es garantía de cumplimiento de las normas de eficiencia energética y un plus adicional de ahorro.

Existe dos tipos de sellos A y B:

**Sello FIDE A**



**Sello FIDE B**



**Ambos Sellos tienen el mismo valor, pero tienen un significado distinto, con respecto al producto que respaldan:**

**Sello FIDE A.** Se otorgará a equipos eléctricos o electrónicos que utilizan la energía eléctrica eficientemente para realizar un trabajo directamente aprovechable por el usuario (Refrigeradores, lámparas ahorradoras, etc.)

**Sello FIDE B.** Se otorgará a productos que no ahorran energía eléctrica por sí mismos, se considerará para equipos y/o materiales, que gracias a su aplicación o instalación, son capaces de crear condiciones que deriven en potenciales ahorros de energía eléctrica (aislantes térmicos, domos, etc.). Con toda oportunidad, se notificará a las empresas que tengan productos que caigan bajo este tipo para hacer de su conocimiento los términos y condiciones para efectuar el cambio correspondiente, sin costo alguno, de manera que se planea tener completamente terminado el cambio de estos sellos a

más tardar el 1 de febrero de 2013. En caso de duda,  
favor de comunicarse al 01800FIDETEL  
(01800-3433835)

En la liga siguiente, se encuentran los productos respaldados con el sello FIDE:  
[http://www.fide.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=82&Itemid=261](http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=82&Itemid=261)