



Libertad y Orden  
UPME



# DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN



ELABORADO POR:

**UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO**

GRUPO DE GESTIÓN EFICIENTE DE ENERGÍA, KAI:

DR. JUAN CARLOS CAMPOS AVELLA, INVESTIGADOR PRINCIPAL.

MSC. EDGAR LORA FIGUEROA, COINVESTIGADOR.

MSC. LOURDES MERIÑO STAND, COINVESTIGADOR.

MSC. IVÁN TOVAR OSPINO, COINVESTIGADOR.

ING. ALFREDO NAVARRO GÓMEZ, AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE**

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS, GIEN:

MSC. ENRIQUE CIRO QUISPE OQUEÑA, COINVESTIGADOR.

MSC. JUAN RICARDO VIDAL MEDINA, COINVESTIGADOR.

MSC. YURI LÓPEZ CASTRILLÓN, COINVESTIGADOR.

ESP. ROSAURA CASTRILLÓN MENDOZA, COINVESTIGADOR.

**ASESOR**

MSC. OMAR PRIAS CAICEDO, COINVESTIGADOR.

UN PROYECTO DE LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA DE COLOMBIA (UPME) Y EL INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS” (COLCIENCIAS).

## CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. EXISTENCIAS AMBIENTALES DE LA ILUMINACIÓN.....	2
3. TIPOS DE LÁMPARAS ELÉCTRICAS PARA LA INDUSTRIA.....	3
3.1 LÁMPARAS INCANDESCENTES.....	3
3.2 LÁMPARAS INCANDESCENTES HALÓGENAS.....	3
3.3 LÁMPARAS FLUORESCENTES.....	4
3.4 LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA.....	5
3.5 LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO.....	5
3.6 LÁMPARAS DE HALOGENUROS METÁLICOS.....	6
3.7 LÁMPARAS DE SODIO DE BAJA PRESIÓN.....	7
3.8 LÁMPARAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.....	7
4. TIPOS DE LÁMPARAS PARA EL COMERCIO Y VIVIENDAS.....	9
4.1 MINI FLUORESCENTES COMPACTOS O FOCOS AHORRADORES.....	9
5. PASOS A SEGUIR EN EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.....	11
5.1 PLANEAR LOS RECURSOS Y EL TIEMPO.....	11
5.2 RECOPIRAR DATOS EN SITIO.....	11
5.3 REALIZAR MEDICIONES.....	11
5.4 ANALIZAR LOS DATOS.....	11
5.5 ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO.....	12
5.6 LLEVAR A CABO LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS PROPUESTOS.....	12
5.7 ELABORACIÓN DEL INFORME DEL DIAGNÓSTICO.....	12
5.8 INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA.....	12
6. INCIDENCIA DE LA TENSIÓN DEL SUMINISTRO SOBRE EL ALUMBRADO.....	13
6.1 INCIDENCIA SOBRE LA EFICACIA.....	13
6.2 INCIDENCIA SOBRE LA CALIDAD.....	13
6.3 INCIDENCIA SOBRE EL FUNCIONAMIENTO.....	14
7. ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN.....	15
7.1 NIVELES DE ILUMINANCIA Y UNIFORMIDAD RECOMENDABLE.....	15
7.2 COMPARACIÓN ENTRE LAS ILUMINANCIAS EXISTENTE Y RECOMENDADAS...	15
7.3 DESLUMBRAMIENTO REFLEJADO.....	17
7.4 COLOR DE LA LUZ PARA LA TAREA.....	17

	<b>Pág.</b>
7.5 SATISFACCIÓN DE EXIGENCIAS LUMINOSAS AMBIENTALES.....	18
7.6 COMPROBACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LUMINANCIAS.....	18
7.7 COMPROBACIÓN DEL DESLUMBRAMIENTO DIRECTO.....	18
7.8 TIPOS DE ILUMINACIÓN.....	20
8. LUMINARIAS.....	21
9. SIETE PUNTOS CLAVE PARA UNA BUENA ILUMINACIÓN INDUSTRIAL.....	23
10. EJEMPLO DE DISEÑO DE ALUMBRADO.....	24

## 1. INTRODUCCIÓN

El diagnóstico energético es una herramienta indispensable para desarrollar las bases técnicas y financieras de un programa de ahorro de energía. Es por ello la importancia de contar con técnicas adecuadas para su ejecución, así como con personal calificado para ejecutarlo.

El objetivo de practicar un diagnóstico energético a un sistema de iluminación, es el de identificar todas las posibles medidas de ahorro de energía en dicho sistema, durante un tiempo limitado; recopilar y ordenar todos los datos de consumo de energía e iluminación de la instalación; así como el de realizar la evaluación técnico-económica de la implantación de las medidas de ahorro. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Recopilación y desarrollo de la base de datos de consumos y costos de energía, así como de los niveles de iluminación requeridos.
- Evaluación objetiva del estado de las instalaciones (conexiones eléctricas, conductores, lámparas, luminarias, y equipos auxiliares).
- Levantamiento del número y tipo de dispositivos que conforman el sistema de iluminación.
- Mediciones de intensidad luminosa.
- Identificación y cuantificación de medidas de ahorro de energía.
- Evaluación técnico-financiera de las medidas de ahorro de energía.

## **2. EXIGENCIAS AMBIENTALES DE LA ILUMINACIÓN**

Las personas se sienten afectadas en su bienestar y en su actuación por las condiciones ambientales del local en que se desenvuelven (los técnicos en la industria, los pacientes y médicos en los hospitales, los estudiantes en el aula, etc.). Por ello resulta de primordial importancia conseguir un medio ambiente que contribuya a satisfacer las exigencias psicofísicas de la persona. Dentro de las condiciones ambientales que afectan a la persona están el nivel de ruido, la intensidad de las vibraciones y las características del alumbrado, cada día más importantes como consecuencia de que en sus actividades tienen un peso creciente los aspectos visuales.

En este orden de ideas, el alumbrado de un local o instalación deberá evitar la aparición de cansancio, aburrimiento, monotonía, etc. Asimismo, el alumbrado deberá contribuir a la armonía visual que genere agrado y satisfacción. Por otro lado, no causará incomodidades, debido a la aparición de deslumbramiento molesto, emisión molesta de calor por las fuentes de luz y otros aspectos pocos positivos.

La satisfacción por el alumbrado de las exigencias ambientales conlleva, en líneas generales, un adecuado control de la luz, la iluminación de las paredes del local, una sensación agradable por el color de la luz, etc.

### **3. TIPOS DE LÁMPARAS ELÉCTRICAS PARA LA INDUSTRIA**

Son fuentes luminosas artificiales. A continuación se exponen los tipos de lámparas o fuentes alimentadas con energía eléctrica, que pueden tener aplicación en los locales que se trate de iluminar o mejorar la iluminación existente.

#### **3.1 LÁMPARAS INCANDESCENTES.**

En este tipo de lámparas, la luz se produce como consecuencia de la elevación de la temperatura en un cuerpo metálico (filamento).

Se pueden conectar directamente a la red, sin necesidad de ningún accesorio eléctrico.

Las lámparas incandescentes normales se caracterizan por la gran proliferación de sub - tipos, el fácil control de la luz por su reducido tamaño, el color adecuado, su baja eficacia luminosa y elevada luminosidad. El flujo emitido puede regularse mediante equipos electrónicos adecuados, conservando una elevada eficacia (aprox. 65%).

Sus características técnicas principales iniciales son, entre otros:

- Potencias: 25, 50, 100, 150, 200, 500 y 1,000 W.
- Flujos Luminosos: Para las potencias enumeradas, pueden considerarse como valores mínimos para el caso de ampollas claras los siguientes: 220, 600, 1,250, 2,000, 2,900, 8,300 y 18,000 Lúmenes.
- Vida media de un lote: Aproximadamente 1,000 h.
- Reducción del flujo.

#### **3.2 LÁMPARAS INCANDESCENTES HALÓGENAS.**

En estas lámparas, llamadas frecuentemente de cuarzo-yodo, se logran mejorar la conservación del flujo emitido, la vida media y el color de las lámparas incandescentes de uso normal.

En contraposición tienen el inconveniente de la elevada temperatura (500°C) que puede alcanzarse en la superficie exterior del tubo; también resulta desfavorable su elevada luminosidad y el montaje obligado en posición horizontal, salvo que se emplee el modelo de doble envoltura. Al igual que las lámparas incandescentes normales, su flujo puede regularse mediante dispositivos atenuadores.

### 3.3 LÁMPARAS FLUORESCENTES.

En las lámparas de este tipo, una variedad de las lámparas de descarga a baja presión, la luz se emite por sustancias que cubren su interior al llegarles radiación ultravioleta, que produce la descarga en vapor de mercurio a baja presión. Son regulables mediante equipos electrónicos, conservándose un rendimiento aceptable (65%).

La forma usual de las lámparas fluorescentes es tubular y circular (Ver figura 1).

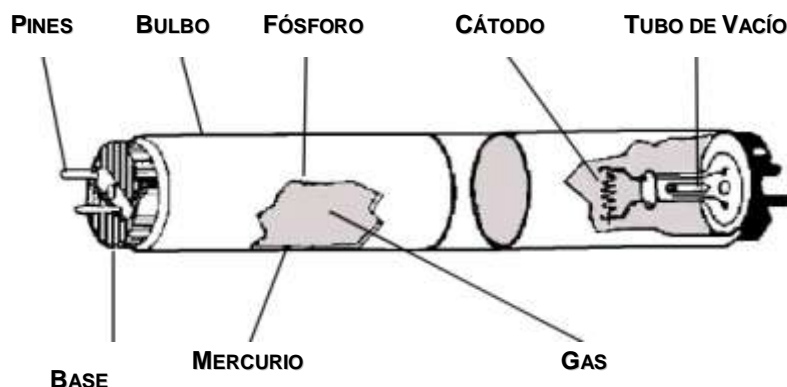
Como características básicas enumerarán las siguientes:

- Por el tipo de Encendido. El de precalentamiento (mediante el llamado cebador o arrancador de la lámpara), el de encendido rápido y las de encendido instantáneo.
- Por su Color. Existen del color blanco cálido, blanco frío, luz día.
- Eficacia Luminosa. Dada la variedad de tipos existentes son muy variables, entre 50 y 85 lm/W.
- Vida Media. Depende mucho del tipo (y de la forma de su utilización), variando entre 4,000 y 20,000 h.

En cuanto a las condiciones de utilización cabe destacar las siguientes:

- El número y tipo de encendidos influye decisivamente en la vida de los fluorescentes.
- Los consumos en los aparatos auxiliares pueden estimarse en un campo de variación de alrededor al 10% del consumo en el fluorescente.
- Las variaciones en la tensión del suministro los afectan reduciendo el flujo luminoso emitido. Si existe riesgo de estos defectos se deben elegir balastos adecuados (autoestabilizadores) que atenuarían esta disminución y al mismo tiempo mejorarían la vida y las condiciones de encendido.

**Figura 1.** Lámpara Fluorescente



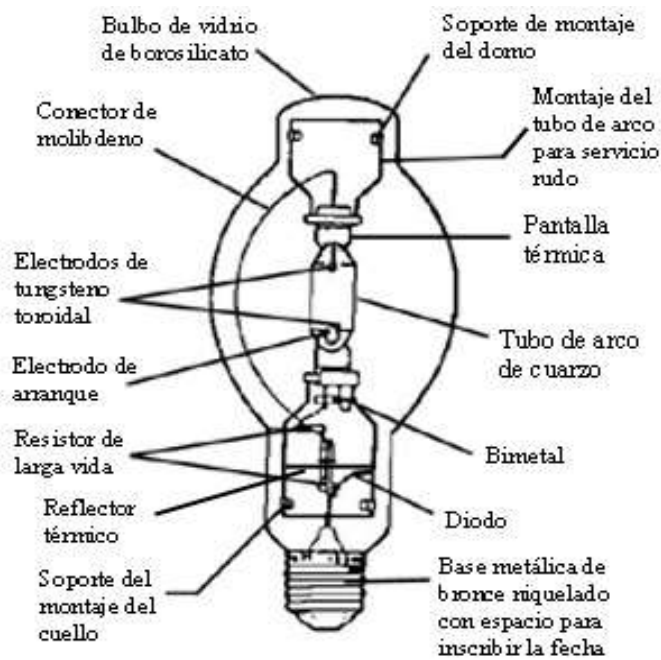


### 3.4 LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA.

En este tipo de lámparas, la alta intensidad de la luz se produce al excitar un gas, un vapor o la mezcla de ambos, contenidos en un tubo a alta presión.

Para conectarlas a la red deberán, dada la característica negativa de la descarga, intercalarse siempre los aparatos eléctricos correspondientes, como balastos o reactancias (bobinas de inductancia), o autotransformadores de fugas magnéticas, arrancadores o ignitores, condensadores, etc. (Ver figura 2).

Figura 2. Lámpara Halógena.



### 3.5 LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO.

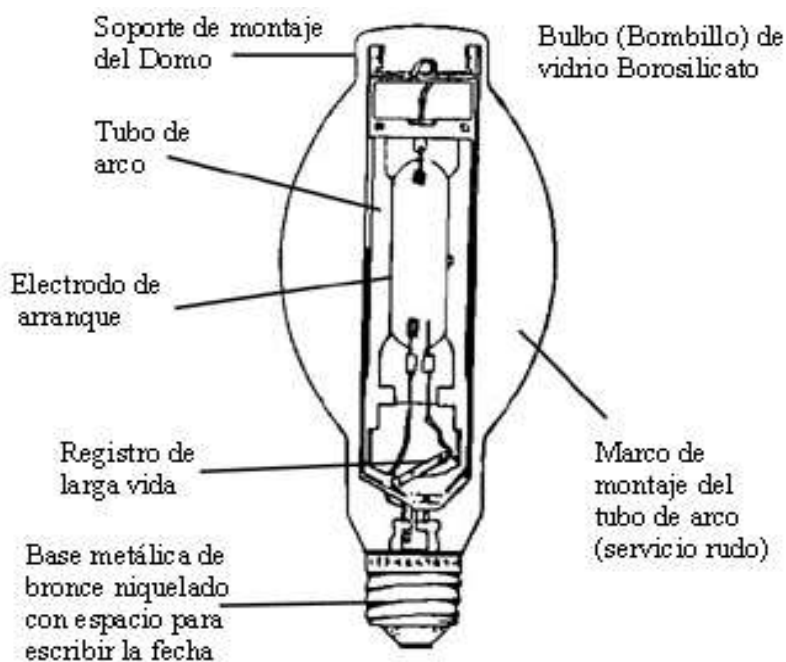
En las lámparas de vapor de mercurio la radiación emitida en un tubo por la descarga en vapor de mercurio a alta presión se corrige con un recubrimiento fluorescente en el interior de la ampolla. Su color es aceptable aunque su economía no es muy buena (Ver figura 3).

Las lámparas de vapor de mercurio se caracterizan por:

- Potencias: 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1,000 y 2,000 W
- Eficacia luminosa: Están en función a las características del fabricante, de manera referencial se puede indicar valores entre 40 y 60 lm/W, según el orden creciente de las potencias.

- La vida útil de un lote representativo de lámparas puede fijarse entre las 9,000 y 14,000h.
- Para que emita todo el flujo hace falta que transcurra unos 6 seg. a partir de la conexión, a no ser que haya sido desconectado poco antes, en cuyo caso son precisos unos 10 minutos.

**Figura 3.** Lámpara de Mercurio.



### 3.6 LÁMPARAS DE HALOGENUROS METÁLICOS.

Son lámparas de mercurio a las que se añaden ciertos halógenos metálicos de tierras raras (yoduros de indio, disprosio, talio, sodio, holmio, tulio, europio). Tanto su economía como su color son excelentes.

Además de tener la ampolla una forma tubular y ovoide, este tipo de lámparas se caracteriza por lo siguiente:

- Potencias: 175, 250, 360, 400 W.
- Rendimiento Luminoso: Entre 68 y más de 100 lm/W.
- Luminancia media: 700 cd/m<sup>2</sup>
- Vida media: La duración de un lote significativo de lámparas oscila entre 15,000 y 20,000 h.

Existen lámparas para sustituir a las de incandescencia, compactas, roscadas y con equipo auxiliar electrónico incorporado cuyas potencias son de 15 W, 30 W y 45 W.

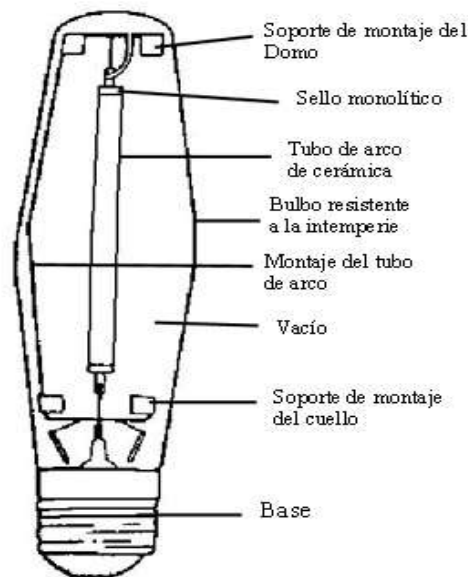
### 3.7 LÁMPARAS DE SODIO DE BAJA PRESIÓN.

En este tipo de lámparas la luz se produce en gran cantidad por descarga en vapor de sodio a baja presión. Dada su deficientísima reproducción del color, generalmente solo se emplea cuando nos sea necesaria la reproducción cromática. La regulación de su flujo es posible, aunque presenta problemas (Ver figura 4).

Se caracterizan por ciertas condiciones, como las siguientes:

- Potencias: Se dispone de lámparas de 18, 35, 55, 90, 135, y 180 W.
- Eficacia luminosa: Están en función a las características del fabricante, de manera referencial se puede indicar valores entre 125 y 185 lm/W, según el orden creciente de las potencias.
- Consumo incluyendo equipos auxiliares: Se pueden considerar entre 100 y 150 lm/W.
- La vida útil de un lote representativo de lámparas es de 9,000 h.
- Permiten la regulación de la emisión luminosa conservando un alto rendimiento.

**Figura 4.** Lámpara de Sodio de Baja Presión.



### 3.8 LÁMPARAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.

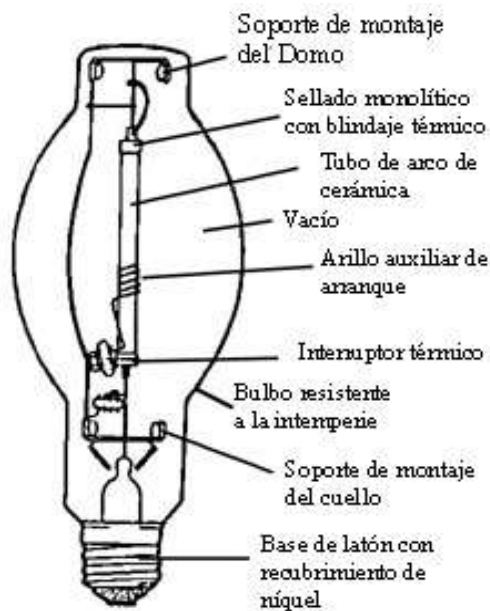
La luz generada por estas lámparas se realiza por descarga eléctrica en vapor de sodio a alta presión. Son lámparas de gran economía, aunque con deficiente reproducción del color.

Además de tener la ampolla una forma tubular y ovoide (Ver figura 5), este tipo de lámparas se caracteriza por lo siguiente:

- Potencias: 70, 150, 250, 400, 1000 W
- Rendimiento Luminoso: Entre 90 y 130 lm/W
- Luminancia media: 500 cd/m<sup>2</sup>
- Vida media: La duración de una emisión aceptable de flujo es de unas 10,000 h para las bajas potencias y alcanza más 20,000 h, para las de potencia elevada.

Dentro de las distintas lámparas enumeradas se puede concluir que las lámparas de vapor de sodio de alta presión son las que proporcionan mejores expectativas para el alumbrado industrial. Solamente cuando el color sea una exigencia básica, deberá recurrirse a las lámparas de halogenuros metálicos.

**Figura 5.** Lámpara de Sodio de Alta Presión.



## 4. TIPOS DE LÁMPARAS PARA EL COMERCIO Y VIVIENDAS

Para el alumbrado comercial y residencial, actualmente existen en el mercado nuevos tipos de lámparas que permiten sustituir a las lámparas incandescentes y en algunos casos a las lámparas fluorescentes, además por tener un mayor tiempo de vida útil y un menor consumo de energía.

### 4.1 MINI FLUORESCENTES COMPACTOS O FOCOS AHORRADORES.

Son lámparas sustitutivas de las incandescentes. Constan de un tubo fluorescente que se enrolla para reducir el tamaño incorporado y un casquillo normal (E27) que permite efectuar el cambio sin la menor dificultad. Los Focos Ahorradores se fabrican en potencias de 11, 20, 23 y 50 W de potencia.

Esta serie de lámparas fluorescentes compactas están dotadas con un arrancador y reactancias. En luminarias interiores y exteriores de prolongado uso, estas lámparas ayudan a ahorrar considerablemente los gastos de servicio.

Las ventajas esenciales son:

- Clara como una lámpara incandescente de 50, 75 y 100 W.
- Luz cálida y agradable como la lámpara incandescente.
- Reproducción cromática excelente.
- Usan el casquillo nominal E27 igual que las lámparas incandescentes normales.
- Este tipo de lámparas ofrecen un alto rendimiento, bajo costo y consumo, hasta 5 veces menos energía que una lámpara incandescente normal y además dando mejor luz.
- La duración promedio de este tipo de lámparas, según los fabricantes, es de dos años. Estas lámparas tienen una vida útil aproximada de 10,000 horas.

En la tabla 1 se muestra un resumen de las características de las lámparas eléctricas.

**TABLA 1.** Tipos de Lámparas Eléctricas.

<b>TIPO</b>	<b>POTENCIAS</b>	<b>FLUJO LUMINOSO/EFICACIA LUMINOSA</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>	<b>VIDA MEDIA DE UN LOTE</b>
<b>LÁMPARAS INCANDESCENTES</b>	25, 50, 100, 150, 200, 500 y 1,000 W	220, 600, 1,250, 2,000, 2,900, 8,300 y 18,000 Lúmenes	Se pueden conectar directamente a la red, sin necesidad de ningún accesorio eléctrico.	Aprox. 1000 h.
<b>LÁMPARAS FLUORESCENTES</b>	20, 32, 40, 80 W	1000, 2000, 5600 lúmenes	Forma tubular y circular. Existen del color Blanco cálido, blanco frío, luz día. El número y tipo de encendidos influye decisivamente en la vida de los fluorescentes.	Entre 4,000 y, 20000 h.
<b>LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO</b>	50, 80, 125, 250, 400, 700, 1,000 y 2,000 W	Eficacia luminosa: Entre 40 y 60 lm/W, según el orden creciente de las potencias.	Para que emita todo el flujo hace falta que transcurran unos 6 seg. a partir de la conexión	Entre las 9,000 y 14,000 h.
<b>LÁMPARAS DE HALOGENUROS METÁLICOS</b>	175, 250, 360, 400 W	Rendimiento Luminoso: Entre 68 y más de 100 lm/W	Son lámparas de mercurio a las que se añaden ciertos halogenuros metálicos.	Entre 15,000 y 20,000 h.
<b>LÁMPARAS DE SODIO DE BAJA PRESIÓN</b>	18, 35, 55, 90, 135, y 180 W.	Eficacia luminosa: 125 y 185 lm/W, según el orden creciente de las potencias; incluyendo equipos auxiliares: se considera entre 100 y 150 lm/W.	Permiten la regulación de la emisión luminosa conservando un alto rendimiento.	Aprox. 9,000 h.
<b>LÁMPARAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN</b>	70, 150, 250, 400, 1000 W	Rendimiento Luminoso: Entre 90 y 130 lm/W	Son las que proporcionan mejores expectativas para el alumbrado industrial. Solamente cuando el color sea una exigencia básica, deberá recurrirse a las lámparas de halogenuros metálicos.	Duración de 10,000 h para bajas potencias y más de 20,000 h, para potencias elevadas.
<b>LÁMPARAS COMPACTAS</b>	7, 11, 20, 23 y 40 W.	800, 1000, 1250 lúmenes	Son lámparas sustitutivas de las incandescentes. Constan de un tubo fluorescente que se enrolla para reducir el tamaño incorporado y un casquillo normal (E 27).	Aprox. 8,000 h.
<b>MINI FLUORESCENTES COMPACTOS</b>	15, 20, 23 y 40 W	900, 1200, 1500 lúmenes	Esta es una nueva serie de lámparas fluorescentes compactas, dotadas con un arrancador y reactancia incorporados. Tienen un casquillo E27, las lámparas incandescentes usuales se pueden cambiar sin la menor dificultad.	Tienen una vida útil aproximada de 8,000 horas dependiendo de la marca.

## **5. PASOS A SEGUIR EN EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO**

El trabajo del diagnóstico energético se resume en siete pasos descritos a continuación:

### **5.1 PLANEAR LOS RECURSOS Y EL TIEMPO.**

El grupo ejecutor tiene que revisar toda la información disponible sobre la planta, y dividir entre ellos las tareas de recopilación de datos y mediciones. Dentro de las actividades de planificación necesarias para el éxito del diagnóstico, destacan las siguientes:

- Revisar toda la información disponible sobre la instalación.
- Elaborar un cronograma de trabajo.
- Asegurarse que la instrumentación requerida esté disponible y en buenas condiciones.

### **5.2 RECOPIRAR DATOS EN SITIO.**

Deben reunirse datos de todo aquello relacionado con el uso de la iluminación, incluyendo en forma indicativa, pero no limitativa, la siguiente:

- Horarios típicos de trabajo.
- Características físicas de la instalación.
- Características de las lámparas, luminarias y equipo auxiliar.

### **5.3 REALIZAR MEDICIONES.**

La toma de mediciones durante el diagnóstico, tiene tres objetivos:

- Determinar los niveles de iluminación reales que se tienen en cada área de la instalación.
- Comprobar el estado de operación del equipo.
- Determinar el consumo de energía de cada área de la instalación.

### **5.4 ANALIZAR LOS DATOS.**

Una vez que los datos han sido reunidos, deben ser analizados de acuerdo con los siguientes criterios:

- Función específica de lámparas, luminarios y accesorios.
- Niveles de iluminación Requeridos Vs. Reales.
- Eficiencia energética del equipo instalado.
- Función del equipo de control.

## **5.5 ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO.**

La estimación del potencial de ahorro depende de las observaciones realizadas durante el recorrido por las instalaciones y de las mediciones efectuadas, así como de la experiencia del equipo diagnosticador. Las oportunidades de ahorro de energía que resultan de un diagnóstico, determinan el potencial de ahorro, el cual, generalmente estará dado en términos de porcentajes. Las medidas de ahorro de energía en iluminación de mayor replicabilidad son las siguientes:

- Sustitución de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas.
- Sustitución de lámparas fluorescentes (T12), por lámparas fluorescentes (T8).
- Instalación de reflectores especulares.
- Sustitución de lámparas de mercurio por lámparas de sodio alta o baja presión.
- Instalación de controles de alumbrado.
- Sustitución de balastos electromagnéticos convencionales por balastos electromagnéticos de alta eficiencia.
- Sustitución de balastos electromagnéticos por balastos electrónicos.
- Adecuar los niveles de iluminación.

## **5.6 LLEVAR A CABO LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS PROPUESTOS.**

Para ello se debe iniciar por determinar el volumen de obra y su costo de implantación; y con los ahorros esperados, determinar el período de recuperación de la inversión.

## **5.7 ELABORACIÓN DEL INFORME DEL DIAGNÓSTICO.**

El paso final es de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones del diagnóstico, haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía, y el plan de acción para implantarlas.

## **5.8 INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA.**

La instrumentación básica requerida para realizar un diagnóstico energético a un sistema de iluminación es la siguiente:

- Luxómetro.
- Voltímetro.
- Amperímetro.
- Flexómetro o equivalente.



## **6. INCIDENCIA DE LA TENSIÓN DEL SUMINISTRO SOBRE EL ALUMBRADO**

### **6.1 INCIDENCIA SOBRE LA EFICACIA**

Todas las lámparas se ven afectadas, en su eficacia y en el flujo emitido, por la tensión de suministro de la energía eléctrica. Por ejemplo una lámpara de incandescencia subtensionada un 10% emite el 70% de su flujo luminoso inicial, reduciéndose su eficacia al 80%. Algo similar ocurre con las lámparas de descarga, con incidencia variable según sus tipos y las características de sus accesorios; así, por ejemplo, en el caso de una lámpara de vapor de mercurio, el flujo emitido se reducirá un 20% si la tensión del suministro eléctrico es el 90% de la nominal, si se utiliza un buen balasto inductivo, o un 2% si este es del tipo regulador.

La sección de los conductores influyen en la caída de tensión que se ocasiona a lo largo de un circuito; si se tiene unas dimensiones inadecuadas (subdimensionamiento inicial, incremento de las cargas conectadas sobre las previsiones realizadas, etc.) la tensión del suministro eléctrico a las lámparas o accesorios podrá ser tan baja que resulte inadmisibile desde el punto de vista económico, dada su incidencia negativa sobre la eficacia de las fuentes de luz.

### **6.2 INCIDENCIA SOBRE LA CALIDAD.**

Las características de las lámparas, cuando éstas funcionan subtensionadas, se ven afectadas en muchos aspectos que inciden en la calidad de la iluminación; básicamente, en el flujo que emiten y en el color de la luz que proporcionan. Por consiguiente, si el circuito al que se conecta una lámpara está subdimensionada y, por consiguiente, la tensión de suministro de energía eléctrica es menor que la nominal, la calidad de la iluminación puede ser muy inferior a lo previsto o deseado.

El color de la luz emitida por las lámparas de incandescencia depende de la tensión de la corriente eléctrica a la que se conecta, pues es función de la temperatura que alcanza el filamento. Así, por ejemplo, una lámpara de incandescencia de una eficacia de 20 años conectada a su tensión nominal emite una luz con una temperatura de color muy cerca a los 3,000K, mientras que si aquella se reduce en 10%, dicha temperatura descenderá por debajo de los 2,900K. Algo similar ocurre con las lámparas de descarga (tubos fluorescentes y lámparas de alta intensidad de descarga), pues el color de la luz que emiten varia con la presión de los gases dentro de las lámparas o tubos de descarga que, a su vez, depende, entre otros factores de las características constructivas y condiciones de empleo, de la tensión de la corriente a la que se conecta. Esta variación de color, sobre todo en las lámparas de halogenuros metálicos, cuyo uso viene determinado con frecuencia por su elevado índice de rendimiento en color, aconseja en muchos casos, la utilización de balastos autorreguladores.

Por todo lo indicado, se comprende la importancia de conectar las lámparas, o sus accesorios, a la tensión nominal y, de ahí, la trascendencia de que las caídas de tensión en los conductores que las alimentan sean los mínimos compatibles con la economía de la red eléctrica.

### **6.3 INCIDENCIA SOBRE EL FUNCIONAMIENTO.**

Si las lámparas de descarga funcionan subtensionadas, muchas de las características que influyen en el costo de la iluminación se ven afectadas negativamente y, por consiguiente, cuando la sección de los conductores no está bien dimensionada, la economía de la instalación de alumbrado será inferior a lo que sería posible o deseable.

Lógicamente, ello afecta a las instalaciones realizadas con todo tipo de lámparas, da la influencia de la tensión a que se conectan sobre su eficacia; pero, en el caso de lámparas de descarga, ello afecta a otros factores que condicionan la economía de su uso como, por ejemplo, a su duración, a las características de la curva de mortalidad, etc. Se incrementa así el costo del reemplazo de lámparas, uno de los de mayor peso en el gasto ocasionado por la conservación de la instalación.

Si, como consecuencia de posibles fluctuaciones en la tensión de la corriente eléctrica suministrada, cuyo valor mínimo puede verse reducido aun más por su sub-dimensionamiento de los circuitos de alimentación, las lámparas de descarga llegan a apagarse y posteriormente a encenderse, ello incidirá muy desfavorablemente sobre la calidad de servicio del alumbrado y, si este proceso se repite, la duración de la fuente de luz podría verse afectada.

Cuando la lámpara de descarga arranca con tensiones inferiores a la nominal, se desprende más material, acortándose su vida; ello, que no solo afecta a la duración de la lámpara sino también a la depreciación del flujo que emite a lo largo de su utilización, puede modificar decisoriamente la curva de mortalidad, impidiendo que pueda usarse con validez para efectuar el programa de mantenimiento.

## **7. ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN**

Se van a establecer aquellos parámetros de la iluminación que condicionan la actuación visual de la persona y, por tanto, inciden en la seguridad y productividad con que se realizarán las tareas laborales, y se determinará su valor para satisfacer los objetivos deseados.

Como parámetros básicos para la cuantificación del servicio, en su caso, se emplearán la luminancia, su uniformidad, el deslumbramiento y el color de la luz. Estas magnitudes se refieren, en general, al alumbrado artificial, ya que la luz diurna no será suficiente durante toda la jornada laboral, salvo en casos muy excepcionales.

### **7.1 NIVELES DE ILUMINANCIA Y UNIFORMIDAD RECOMENDABLES.**

Para fijar la banda de iluminaciones se utilizará la tabla 2 de iluminancias recomendadas para Interiores.

Ciertamente, existen métodos para que se puedan fijar valores de la iluminancia de mayor validez. Uno de los más recientes consiste en estudiar la tarea o las tareas que se van a efectuar en los distintos puestos de trabajo y medir en ellos el contraste equivalente de la tarea. Una vez determinado el contraste equivalente puede pasar a establecerse, empleando el cuadro de categorías de iluminancia (tabla 3), y determinar la iluminancia que deberá alcanzarse para lograr una actuación visual que garantice la realización segura, exacta y rápida de los trabajos laborales.

### **7.2 COMPARACIÓN ENTRE LAS ILUMINANCIAS EXISTENTES Y RECOMENDADAS.**

Un método muy práctico para contrastar las iluminancias que se tengan en un local respecto a las recomendadas por las normas, consiste en realizar los siguientes pasos empleando una planta del local donde tienen lugar las actividades industriales.

- Se empieza por asignar a las zonas en que se realizan los distintos trabajos, las iluminancias determinadas anteriormente, en función de la dificultad visual de las mismas.
- Se estudia la posibilidad de agrupar las áreas donde se realizan tareas de similar dificultad; también se intentará situar, dentro de lo posible, los puestos de trabajo en los que se realizan las tareas más exigentes en la zona en que existe la luz natural; si la iluminancia determinada es elevada, superior a 500 lux, se estudiará la posibilidad de dotar al puesto de trabajo de un alumbrado localizado.

- Se procede a reajustar las distintas iluminancias, para lograr una uniformidad aceptable entre las zonas inmediatas, es decir, que los saltos entre las iluminancias medias de dos zonas contiguas no sean superiores a 3:1.
- Se medirán las iluminancias colocando la célula del luxómetro sobre la tarea; normalmente para la mayoría de las tareas el luxómetro se situará horizontal y a una altura sobre el suelo de unos 80 cm. La medición se hará como mínimo, en el caso usual de luminaria distribuidas simétricamente, en los puntos indicados. Se suman los 9 valores obtenidos de la iluminancia, se divide por 9 y el resultado es el valor que se tomará como el de iluminancia media. Se divide el menor de los 9 valores obtenidos por la iluminancia media calculada, y el resultado se toma como coeficiente de uniformidad.
- Se pasan a una planta, a ser posible en papel transparente, los valores medidos de iluminancia y el plano se superpone sobre la distribución de iluminancias recomendables.

**Tabla 2.** Iluminancias recomendadas para interiores.

INTERVALO	ILUMINANCIA RECOMENDADA (lx)	CLASE DE ACTIVIDAD
Iluminación general en zonas pocas frecuentadas o que tienen necesidades visuales sencillas.	20	Zonas públicas con alrededores oscuros.
	30	
	50	Únicamente como simple orientación en vistas de corta duración.
	75	
	100	Lugares no destinados para trabajo continuo.
	150	
200		
Iluminación general para trabajo en interiores.	300	Tareas con necesidad visual limitadas (maquinarias pesadas, salas de conferencias).
	500	Tareas con necesidad visual normal (maquinarias media, oficinas).
	750	
	1000	
	1500	Tareas con necesidad visual especial (grabado, inspección textil).
	2000	Tareas prolongadas que requieren precisión (electrónica, relojería).
3000		
Iluminación adicional en tareas visuales exactas.	5000	Tareas visuales excepcionalmente exactas (montaje microelectrónico). Tareas visuales muy especiales (operaciones quirúrgicas).
	7500	
	10000	
	15000	
	20000	

**Tabla 3.** Categorías de iluminancia según los valores del contraste equivalente de la tarea visual.

<b>CONTRASTE EQUIVALENTE G(-)</b>	<b>CATEGORÍA DE ILUMINANCIA</b>
0.75 - 1.00	D
0.62 - 0.75	E
0.50 - 0.62	F
0.40 - 0.50	G
0.30 - 0.40	H
< 0.30	I

### **7.3 DESLUMBRAMIENTO REFLEJADO.**

Si se comprueba la aparición de deslumbramiento reflejado, es necesario adoptar medidas para atenuar las causas que lo producen, como son las que siguen:

- Modificar las posiciones relativas del equipo de alumbrado y el puesto de trabajo, de forma que, en la zona ofensiva, no quede situada ninguna luminaria.
- Si la anterior modificación no es posible, pueden reemplazarse las luminarias en servicio por otras cuya distribución sea la adecuada, tipo “ala de murciélago”, para reducir el deslumbramiento a límites aceptables; o bien, aumentar la luz incidente sobre el puesto de trabajo, pero que proceda de luminarias situadas fuera de la zona ofensiva.
- En ciertos casos, modificar las superficies especulares o semiespeculares de las tareas haciéndolas mates, con lo que se eliminan o reducen a valores aceptables las reflexiones de velillo.

### **7.4 COLOR DE LA LUZ PARA LA TAREA.**

Para la mayoría de las tareas visuales que se realizan en la industria, el color de la luz no tiene ningún efecto significativo sobre la agudeza visual. Sin embargo, cuando la discriminación o la comparación de colores son parte importante del proceso laboral, el color de la luz, básicamente el índice de rendimiento en color, de la fuente luminosa, debe ser escogido adecuadamente. Por ejemplo, en la industria de artes gráficas es conveniente, incluso necesario, que las lámparas que se utilicen tengan un índice de rendimiento en color de 90 y sin llegar a una exigencia tan crítica, otras muchas industrias alimentarias, textiles, etcétera, requieren también que la luz bajo la cual se efectúa; permita una aceptable discriminación de los colores, lo cual exige que tenga un índice de rendimiento en color del orden de 80.

Como la mayoría de las lámparas que proporcionan luz con un índice elevado de rendimiento en color tienen una eficacia inferior a aquellas que lo tienen bajo, la fijación del índice es una decisión importante para lograr economías energéticas.

### **7.5 SATISFACCIÓN DE EXIGENCIAS LUMINOSAS AMBIENTALES.**

Será necesario analizar, a continuación, si el alumbrado contribuye a crear un ambiente luminoso del local, que proporcione sensaciones de agrado y bienestar de los usuarios, ya que ello es una exigencia social e influye, además, en las motivaciones laborales y en la productividad. Lógicamente, la contribución del alumbrado a la creación ambiental influye también en la eficacia del alumbrado. Veamos la forma de analizar el cumplimiento de las existencias cualitativas del ambiente.

### **7.6 COMPROBACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LUMINANCIAS.**

Dadas las dificultades para la medición directa de las luminancias (claridades) de la tarea, de sus alrededores, de las paredes y del techo, es más práctico, hoy, medir sus reflectancias y las iluminancias que proporciona el alumbrado.

Las luminancias se medirán con el luxómetro y se compararán con las que se recomiendan.

Si estos valores no se encuentran dentro de los valores recomendados, pueden tomarse normalmente, las medidas que se indican a continuación.

- Modificar la reflectancia de las paredes, techos o suelos, a fin de satisfacer los valores recomendados.
- Si, por otro motivo, fuese aconsejable reemplazar o sustituir las luminarias en servicio, se escogerán aquellas cuya distribución fotométrica permita alcanzar los valores recomendados.
- Si ello no es aceptable, puede incrementarse la reflectancia de las paredes y techos para compensar, hasta donde sea posible, una menor iluminancia sobre dichas superficies.
- Instalar algunas luminarias que permitan, con las actuales en servicio, satisfacer las exigencias consideradas como aceptables.

### **7.7 COMPROBACIÓN DEL DESLUMBRAMIENTO DIRECTO.**

Se comprobará si las luminancias de las luminarias existentes quedan dentro de los valores límites.

Se comienza a medir a qué altura sobre el ojo del trabajador están instaladas las luminarias.

Se pasa a deducir los valores aplicables del ángulo de elevación, en que ha de medirse la luminancia.

Se pasa a comprobar si se cumplen los valores límites de luminancia de las luminarias o lámparas desnudas. En el caso de no contarse con los datos necesarios por no suministrarlos el fabricante, podrían efectuarse las mediciones de la distribución fotométrica que proporcionan las luminarias en servicio en un laboratorio de garantía.

En las tablas siguientes se presentan algunos factores de reflexión y transmisión de algunos materiales y colores.

**Tabla 4.** Factores de Reflexión y Transmisión, para algunos materiales.

<b>MATERIALES</b>	<b>FACTORES DE REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN</b>
Estuco blanco (nuevo, seco)	0.70 - 0.80
Estuco blanco (viejo)	0.30-0.60
Acuarela blanca	0.65-0.75
Pintura de aluminio	0.60-0.75
Hormigón (nuevo)	0.40-0.50
Hormigón (viejo)	0.05-0.15
Ladrillo (nuevo)	0.10-0.30
Ladrillo (viejo)	0.05-0.15
Tablero de fibra de madera (crema, nueva)	0.50-0.60
Tablero de fibra de madera (crema, vieja)	0.30-0.40
Madera clara de abedul y arco	0.55-0.65
Madera de roble, laqueada en claro	0.40-0.50
Madera de roble, laqueada en oscuro	0.15-0.40
Madera de caoba o nogal	0.15-0.40
Cortinas amarillas	0.30-0.45
Cortinas rojas	0.10-0.20
Cortinas azules	0.10-0.20
Cortinas de color gris plata	0.13-0.25
Cortinas de color marrón oscuro	0.10-0.20
Terciopelo negro	0.005- 0.01
"Reflectal"	0.95-0.98
Plata pulida	0.88-0.93
Esmalte blanco	0.65-0.75
Níquel pulido	0.53-0.63
Níquel mate	0.48-0.52
Aluminio pulido	0.65-0.75
Aluminio mate	0.55-0.60
Aluminio "Alzac"	0.80-0.85
Cobre	0.48-0.50
Cromo pulido	0.60-0,70
Cromo mate	0.52-0.55
Hojalata	0.68-0.70

Fuente: Ahorro de Energía en Sistemas Eléctricos - ICAITI

**Tabla 5.** Factores de transmisión, para algunos tonos de colores.

<b>COLOR</b>	<b>CLARO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>OSCURO</b>
Amarillo	0,70	0,50	0,30
Beige	0,65	0,45	0,25
Marrón	0,50	0,25	0,08
Rojo	0,35	0,20	0,10
Verde	0,60	0,30	0,12
Azul	0,50	0,20	0,05
Gris	0,60	0,35	0,20
Blanco	0,80	0,70	
Negro		0,04	

Fuente: Ahorro de Energía en Sistemas Eléctricos - ICAITI

## **7.8 TIPOS DE ILUMINACIÓN**

1. Iluminación General. Provee un nivel de iluminación uniforme en toda el área de la nave industrial. Se determina principalmente por la altura disponible para el montaje de las luminarias:
  - Áreas de altura baja (hasta aprox. 7 m): se selecciona usualmente fluorescentes tubulares.
  - Áreas de altura media (aprox. de 7 a 12 m): fluorescentes tubulares ó lámparas de descarga de alta intensidad de fuente puntual.
  - Áreas altas (por encima de 12 m): fuentes de luz puntuales.
2. Iluminación Localizada. Provee un nivel de iluminación específica en el puesto de trabajo.



## 8. LUMINARIAS

Es el aparato que sirve para repartir, filtrar o transformar la luz de las lámparas, y que incluye todas las piezas necesarias para fijarlas y protegerlas y para conectarlas al circuito de alimentación.

Con las componentes ópticas de las luminarias se trata de disminuir la luminosidad (luminancia) de las lámparas y de redistribuir la luz de forma más conveniente para la iluminación deseada, conservando un elevado rendimiento luminoso.

Las luminarias se clasifican según la distribución del flujo luminoso, así se tiene luminarias de tipo directo, semidirecto, general difusa, directa-indirecta, semi-indirecta e indirecta.

Como características constructivas más importantes se señalan las siguientes:

- *Distribución Luminosa y Reparto de Flujo.* Este dato fotométrico proporciona la intensidad luminosa (en candelas) emitida por la lámpara en cierto número de direcciones con una serie de intervalos de ángulos. Estos valores se dan generalmente para una emisión unitaria (1,000 lm) de flujo luminoso.
- *Luminancias Límites.* Para apreciar la luminosidad de una luminaria para tubos fluorescentes es necesario conocer la luminancia (en candelas por metro cuadrado  $\text{cd/m}^2$ ), con que se ve en ángulos elevados ( $>45^\circ$  y generalmente  $55^\circ$ ,  $65^\circ$ ,  $75^\circ$  y  $85^\circ$ ) respecto al nadir (vertical descendente)
- *Apantallamiento.* El ángulo crítico por encima del cual puede provocarse deslumbramiento directo es de  $45^\circ$  con la vertical descendente.
- *Envejecimiento Irrecuperable.* Los componentes de la luminaria sufren a lo largo de su utilización unas pérdidas permanentes, no recuperables mediante operaciones de mantenimiento.

En el caso de reflectores, las superficies con acabados especulares envejecen más lentamente que las que tiene acabados mates.

Entre las **características de uso** de las luminarias a aplicar en el momento de su empleo se tienen:

- *Utilización.* La utilización es la relación (en %) entre el flujo luminoso que llega aun plano de trabajo considerado y el flujo que sale de la luminaria.
- *Factor de Utilización.* Es la relación (en %) entre el flujo luminoso que llega a un plano de trabajo determinado y el flujo luminoso que emiten la o las

lámparas funcionando desnudas. Equivale al producto de la utilización y el rendimiento de la luminaria.

Además se tienen otras características eléctricas como el grado de protección, resistencia física, resistencia al calor.

## 9. SIETE PUNTOS CLAVE PARA UNA BUENA ILUMINACIÓN INDUSTRIAL

1. **Luz Suficiente**, tener niveles adecuados de luz, según la naturaleza de la tarea visual. Mayores necesidades por: probabilidad de cometer errores es menor, motivos de seguridad, edad del trabajador.
2. **Iluminación Uniforme**, una iluminación general con un alto grado de uniformidad, garantiza total libertad a la hora de situar la maquinaria y los bancos de trabajo. (en cualquier punto 200 lux)
3. **Buena Iluminación Vertical**, en ciertos trabajos la tarea visual está localizada en el plano vertical. Se puede recurrir a las empotradas en el techo que ofrecen una distribución asimétrica de la luz.
4. **Fuentes de Luz bien Apantalladas**, en alturas de montaje bajas es fundamental, debido a que las fuentes de luz son relativamente brillantes y producen un flujo elevado en todas direcciones. Las rejillas proporcionan el apantallamiento en la dirección crítica.
5. **Brillo de Equilibrio Uniforme**, una iluminación uniforme contribuye a crear una sensación de confort.
6. **Color de Luz Agradable**, lo que se necesita es una fuente con una apariencia de color agradable y un buen rendimiento de color.
7. **Bajo Costo de Mantenimiento**, es tan importante como la maquinaria moderna y un personal motivado. De instalar una iluminación buena y eficaz, es de sentido común que se obtendrá menores costos de energía y mantenimiento.

## 10. EJEMPLO DE DISEÑO DE ALUMBRADO

En esta parte importante de iluminación trataremos el diseño del alumbrado industrial a modo de ejemplo:

Una nave industrial de 24 metros de largo, 12 de ancho y 7 metros de alto requiere de un alumbrado eficaz. El nivel de iluminación requerido para la nave es de 300 lux, pero debido al manejo de materiales no debe haber interferencia con el color.

### a. LUMINARIA

Lámpara de halógeno de descarga en gas de 400 W, la cual da un promedio de 32,500 lúmenes.

Reflector de campana con el casco de aluminio anodizado y difusor alrededor.

### b. LOCAL

Área de 288 m<sup>2</sup>. El índice del local (k) es una función de sus dimensiones y se calcula con la fórmula:

$$k = \frac{L \times a}{h(l \times a)}$$

donde:

L: Largo.

a: Ancho.

h: altura de montaje.

Entonces con los datos que se tienen,  $k = 1,14$ :

Las paredes son de color azul claro con una reflectancia de 0.5. El techo es de color blanco medio con una reflectancia de 0.7 (Ver Tabla 5).

### c. COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN (CU):

Para determinar este factor se utiliza la hoja del reflector que proporciona el fabricante. Para los valores dados corresponde el valor interpolado de 0.63.

### d. FACTOR DE MANTENIMIENTO (FM)

Este factor se refiere al mantenimiento que se le dará a la luminaria con respecto a su duración. En él se pondera el funcionamiento del balasto, el voltaje aplicado, el cambio de reflectancia, la depreciación lumínica de la lámpara, la suciedad del ambiente, etc.

Considerando un voltaje estable, en un ambiente limpio y un buen mantenimiento, se asume que el  $F_M$  será de 0.70.

Ahora bien, para saber cuál será la cantidad de lámparas que hay que instalar sólo se necesita resolver la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de Lámparas} = \frac{E \times A}{CU \times F_M \times \Phi_{Lamp}}$$

donde:

E: Iluminación o nivel de iluminación, lx.

A: Área del local, m<sup>2</sup>.

CU: Coeficiente de Utilización.

$F_M$  = Factor de Mantenimiento.

$\Phi_{Lamp}$  = Flujo luminoso de la lámpara, lm.

Resolviendo la ecuación anterior tenemos que debemos instalar 6 lámparas.

e. Ahora debemos hacer la disposición de las lámparas para el área dada bajo las siguientes condiciones:

- Que las lámparas laterales no deben distar del límite del ambiente no más de 2/3 de la distancia entre lámparas en un mismo sentido.
- Que la distancia entre dos lámparas vecinas no sea mayor que 1,3 de altura de montaje.

Entonces, tomando esto en cuenta, se hacen los cálculos en base al largo, pero primero se disponen las lámparas según el número, en un orden lógico.

Entonces, se procede con el cálculo matemático:

$$2/3 d_1 + d_1 + d_1 + 2/3 d_1 = 10/3 d_1 = 24m$$

donde  $d_1 = 7.2$  m

Para el cálculo en base al ancho se considera la distancia de lámpara a pared de 1/3 de la distancia entre ambas, entonces:

$$1/3 d_a + d_a + 1/3 d_a = 10/3 d_1 = 12 m$$

donde  $d_a = 7.2m$