

BUENAS PRÁCTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA Iluminación Industrial



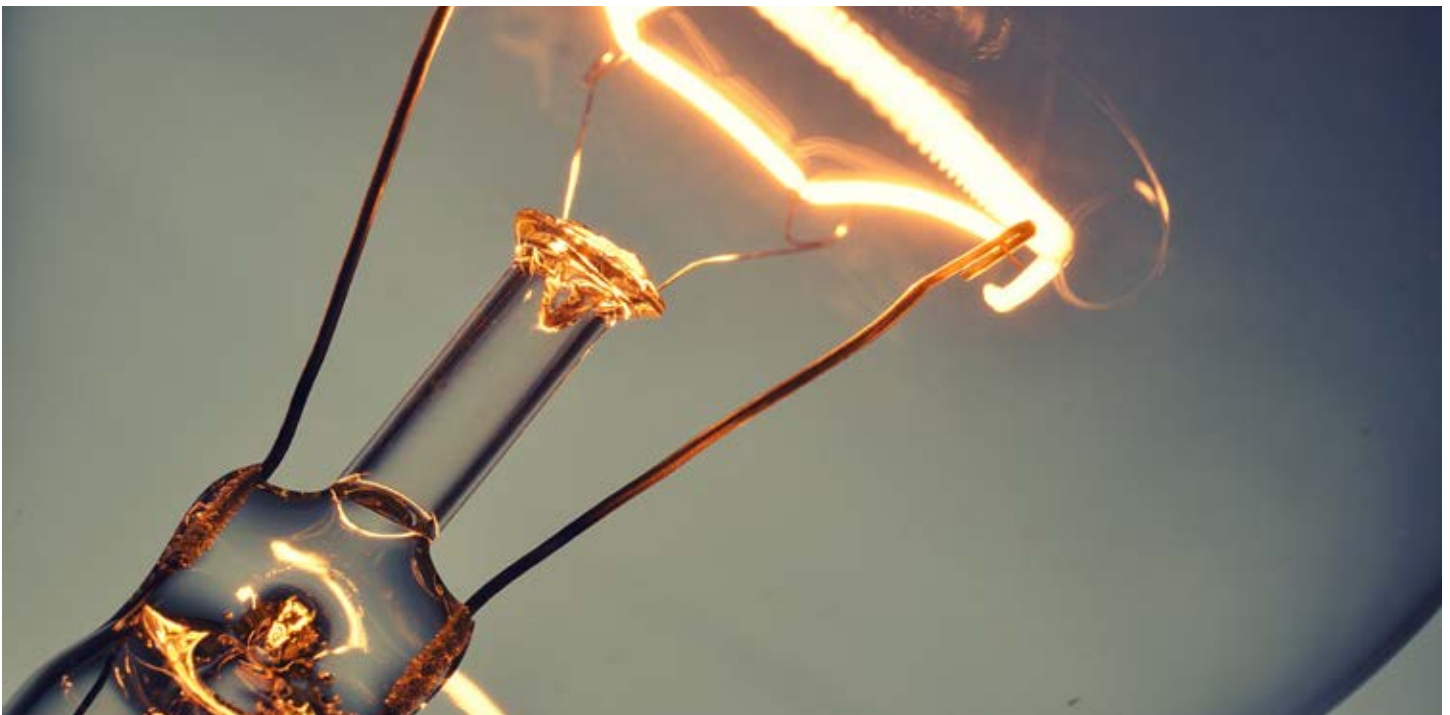
Introducción

En 1851, las principales calles de la ciudad de San José se alumbraban con lámparas de kerosén o canfín; conforme avanzaba el crecimiento urbano y se acentuaban los daños que el tiempo había ocasionado en los postes, se hacía más evidente que este sistema era obsoleto y aumentaba la urgencia de establecer un nuevo servicio, acorde con las demandas del comercio y la industria.

Tras ésta urgencia, se logró inaugurar el servicio eléctrico en San José en el año 1884. Tan solo dos años después de ser iluminada la ciudad de Nueva York, se inauguró el servicio eléctrico en San José al ser las 6:15 de la tarde del 9 de agosto de ese año. La planta se ubicó en Barrio Aranjuez, tenía una fuerza de 75 caballos, generaba 50 kilovatios para **25 lámparas de carbón**.

Los habitantes de la capital y de las ciudades de Alajuela, Heredia y Cartago abarrotaron las principales calles capitalinas, para presenciar el momento en que la luz natural se iba ocultando, esperando que se encendiera, por primera vez, **el servicio de alumbrado eléctrico**, de esta manera culminaba una gigantesca obra nacional, ansiada durante muchos años.

Desde ese entonces, el país conoció las bondades de la iluminación artificial, y a la fecha se pueden encontrar diversos métodos de iluminación y maneras de controlarla.



Fundamentos Teóricos

Los sistemas de iluminación está conformados por luminarias, de las cuales podemos decir que las lámparas eléctricas son dispositivos que transforman la energía eléctrica en luz visible expresada en lúmenes (unidad de intensidad lumínica), esto es dado de acuerdo al tipo de tecnología utilizado para este fin, a saber, la incandescencia, la fluorescencia, la luminiscencia, o bien el uso de semiconductores; por otro lado las luminarias representan la lámpara, la carcasa y el conjunto de capas reflectivas que tratan de dirigir la luz hacia el punto donde la requerimos orientar.

1. Lámparas

Tal y como fue mencionado, con anterioridad, existen distintas tecnologías en el campo de la iluminación, las cuales serán mostradas brevemente a continuación:

a) Lámparas incandescentes:

Son lámparas que funcionan a base de incandescencia por emisión de luz generada por calor. La comprenden las bombillas incandescentes y lámparas halógenas, se les caracteriza por emitir una luz cálida (temperaturas de color ¹ entre los 2.400°K y 2.700°K), y de tener alto índice de rendimiento de color (IRC)² cercano al 100%, además, no poseen metales peligrosos como el mercurio, las desventajas de este tipo de lámparas es su principio de funcionamiento, dado que necesitan mucha energía eléctrica para producir iluminación, aproximadamente del 100% de energía consumida, solamente un 20% se transforma en luz, las eficiencias rondan entre los 15 y 25 lúmenes/Watt.

Pueden ser utilizadas para darle una mejor apreciación a joyas o relojes o bien para mantener el calor en alguna pequeña área.

b) Lámparas fluorescentes:

El principio de funcionamiento de las lámparas fluorescentes es un tanto más complejo que las lámparas incandescentes, el cual básicamente consiste en la excitación en cadena de metales presentes en el interior del tubo o bulbo fluorescente (Argón, Mercurio y Fosforo). Pertenecen a este tipo de lámparas los tubos fluorescentes (circulares, T12, T8, T5, T2), fluorescentes compactos y se les caracteriza por emitir una luz fría (entre los 4.100°K y 6.000°K), sin embargo se les puede encontrar en temperaturas más cálidas (entre los 2.700°K y los 3.000 °K).

¹ La temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada.



² También llamado índice de reproducción cromática es el efecto de una iluminación sobre la percepción del color de los objetos, de forma consciente o subconsciente, en comparación con su percepción del color bajo una iluminación de referencia.

La característica que las hace tan llamativas es su bajo requerimiento de potencia para su funcionamiento, además de tener un precio accesible. Del 100% de energía consumida, un 60% se transforma en luz, las eficiencias rondan entre los 50 y los 100 lúmenes/Watt.

Actualmente, son las más utilizadas en el mercado, se pueden encontrar en cualquier edificio de oficinas, centros comerciales y hogares, entre otros.

c) Lámparas alta intensidad de descarga (HID):

Las lámparas HID se basan en el fenómeno de la luminiscencia, por el cual se producen radiaciones luminosas con un escaso aumento de la temperatura, por lo que se las llama lámparas frías. Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o de sodio) o por la presión a la que este se encuentra (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para muchas aplicaciones. Las lámparas de descarga de alta intensidad incluyen las de haluro metálico, sodio de alta y baja presión, y finalmente las de vapor de mercurio. Sus eficiencias están en el rango de los 50 a los 180 lúmenes/Watt. Generalmente estas lámparas son utilizadas para iluminación exterior (alumbrado público) o bien en lugares donde el techo se encuentre a más de 4,5 metros de altura (bodegas).

Características generales de las lámparas HID

Lámparas de mercurio

Tienen una vida útil de 24.000 horas, las temperaturas de color generalmente son mayores a los 6.000 °K, necesita un tiempo de arranque de 5 a 7 minutos, con un tiempo de re-encendido de 10 minutos, es la menos eficaz de todas las lámparas HID, con un rango de eficiencias entre los 42 y 63 lúmenes/Watt, decreciendo con el tiempo de uso. Poseen un IRC entre un 15% y un 85%.

Lámparas de Sodio de Alta Presión

Tienen una vida útil de 24.000 horas, temperaturas de color muy cálidas de 2.400 °K, necesita un tiempo de arranque de 3 a 4 minutos, con un tiempo de re-encendido de 1 minuto, son conocidas por su alta eficacia con valores de los 50 a 140 lúmenes/Watt, en las cuales se da la mayor eficacia a mayores potencias. No son recomendadas en zonas donde IRC debe ser alto debido a que poseen este índice entre 0% y un 70%.

Lámparas de Sodio de Baja Presión

Tienen una vida útil promedio de 18.000 horas, el rendimiento de color es muy deficiente por lo que todos los colores se tornan en una gama de amarillos y cafés, necesita un tiempo de arranque de 9 minutos, con un tiempo de re-encendido de 1 minuto, tienen los rangos de eficacia más altas de todas las fuentes de iluminación artificial con valores entre los 100 a 180 lúmenes/ Watt, en las cuales se da la mayor eficacia a mayores potencias. No son recomendadas en zonas donde IRC debe ser alto debido a que poseen un IRC de 0%.

Lámparas halogenuros metálicos

Tienen una vida útil entre las 6.000 horas y 20.000 horas, temperaturas de color cálidas entre los 2.700 °K y los 4.100 °K, necesita un tiempo de arranque de 4 minutos, con un tiempo de re-encendido de 10 a 12 minutos, es más eficaz que las lámparas de vapor de mercurio y que las lámparas fluorescente pero menos eficaz que vapor de sodio, con valores entre los 50 a 110 lúmenes/Watt, son conocidas por mejoras en el IRC con valores entre el 65% y el 93% en las cuales se da la mayor eficacia a mayores potencias, las más conocidas son las de cuarzo, sin embargo, en la actualidad en lugar de este componente se están utilizando las de cerámica, la cual tiene mayor resistencia frente a altas temperaturas por lo que su utilización ha aumentado su eficacia y vida útil.

c) Lámparas “LED” (Diodos emisores de luz):

El LED es un tipo de semiconductor que ilumina cuando la corriente eléctrica circula a través de él. Posee una vida útil entre las 30.000 horas y las 50.000 horas, las temperaturas de color son variadas, el tiempo de arranque es inmediato (0,5 s) y poseen un tiempo de re-encendido instantáneo, son utilizados en muchas aplicaciones, desde vehículos y semáforos hasta iluminación en general. Su eficacia está en función de su disipador, la cual ronda entre los 80 y 100 lúmenes/Watt. Sus IRC son menores al 80% por lo que sus usos donde se requiera altos IRC son cuestionados.



2. Luminarias

Las luminarias son el conjunto de lámparas y “carcasas, cuya función es aportar la máxima cantidad de luz al plano de trabajo, generalmente se estima que, dependiente del tipo de carcasa, se puede perder hasta el 50% de la intensidad lumínica de la fuente luminosa debido que la mayoría no son focalizadas.

La pérdida se reduce en cuanto la reflectancia de la carcasa sea mayor, por lo tanto se tendrán más luxes por menos lámparas.

Otra función de las luminarias es la distribución de la iluminación creando así las llamadas curvas fotométricas, cada luminaria posee su curva característica que son utilizadas para el correcto diseño de iluminación.



Tabla comparativa de lámparas convencionales

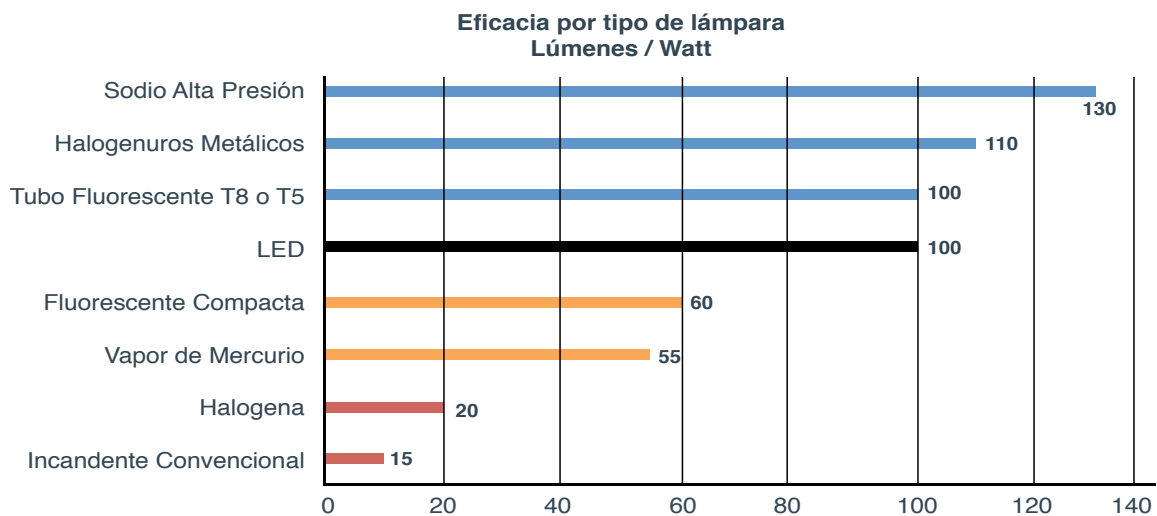
Potencia (Watt)	Incandescente Incluyendo Tungsteno		Fluorescentes		Vapor de Mercurio	Aditivos metálicos	Sodio	
	Halógeno 15-1500	Fluorescente 15-219	Compactos 4-40	(Con balastro propio)	175-1000	Alta Presión (Color mejorado)	Baja Presión Sodio	
Vida (Hrs)	750-12.000	7.500-24.000	10.000-20.000	15.000-16.000	1.500-15.000	24.000 (10.000)	18000	
Eficacia (Lum/W)	15-25	55-100	50-80	50-60	80-100	75-140	arriba de 180	
Mantenimiento de lúmenes	muy pobre	muy pobre	pobre	muy bien	bien	excelente	excelente	
Índice de rendimiento de color	excelente	excelentemente bien	excelentemente bien	muy pobre	muy bien	pobre	mal	
Control de la dirección de la luz	excelentemente muy bien	pobre	pobre	muy bien	muy bien	muy bien	pobre	
Tiempo de encendido	inmediato	inmediato	3 segundos	3-10 minutos	10-20 minutos	menos de 1 min	inmediato	
Costo de Operación	alto	menos que el incandescente	menos que el incandescente	menos que el incandescente	menos que el mercurio	el menor de las HID	bajo	

Fuente: Wayne C. Turner. Energy Management Handbook. 4th edition. 2001..

Buenas Prácticas

Las oportunidades de ahorro energético deben estar orientadas directamente a solucionar las causas que provocan un alto consumo, en el caso de la iluminación podemos mencionar tres causas bien diferenciadas las cuales son el tipo de luminaria a utilizar, el diseño e instalación y el factor de uso.

1. Luminaria: En este apartado hay que considerar tanto la eficacia de la luminaria como el tipo de la carcasa que esta posee, en cuanto a la eficacia por tipo de lámpara se puede apreciar en el gráfico siguiente:



Por lo tanto, lo primero que tenemos que tomar en cuenta en una sustitución tecnológica, es el tipo de lámpara que estamos utilizando, con esto valoramos la sustitución por una lámpara de menor potencia, que suministre el mismo nivel de iluminación. También deben valorarse los siguientes criterios:

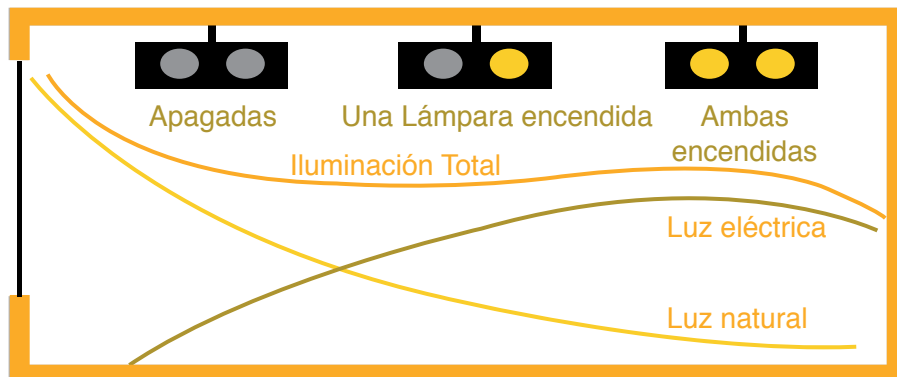
- Índice de rendimiento de color
- Temperatura de color
- Altura de montaje
- Si es para interiores o exteriores

Es importante considerar que, aunque la eficacia de diseño de la lámpara es un buen punto de referencia, tenemos que saber cuánto flujo luminoso percibimos verdaderamente en el plano de trabajo, dado que la carcasa de la luminaria siempre presenta pérdidas, por lo que hay que evaluar el conjunto de la lámpara y la carcasa, en decir la luminaria en el diseño.

AHORRO ENERGETICO POR SUSTITUCION DE LAMPARAS		
ALUMBRADO EXTERIOR		
SUSTITUCION DE	POR	% AHORRO
Vapor de Mercurio	Vapor de Sodio Alta Presión	45%
Vapor de Mercurio	Vapor de Cerámica	40%
Vapor de Sodio Alta Presión	Vapor de Sodio Baja Presión	25%
Vapor de Sodio Alta Presión	LED ³	50%
Halógena Convencional	Halogenuros Metálicos	70%
Incandescente	Fluorescentes Compactas	80%
ALUMBRADO INTERIOR		
Lámparas HID	Fluorescente Tubular T5 ⁴	40%
Incandescente	Fluorescentes Compactas	80%
Halógena Convencional	Fluorescentes Compactas	70%
Halógena Convencional	LED	75%
Fluorescente Tubular T12	Fluorescente Tubular T8	60%
Fluorescente Tubular T8	LED Tubular ⁵	40%
Fluorescente Compacta	LED	45%

Fuente: Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Establecimientos Hoteleros de la Comunidad Valenciana

2. Diseño e instalación: En cuanto al diseño se debe considerar la cantidad de lámparas y su adecuada distribución, así como la cantidad de luz natural presente en el espacio a iluminar. Para los diseños, hoy en día, existen aplicaciones informáticas especializadas para tal efecto. Una vez establecidas las cantidades de luminarias a instalar, el tipo y ubicación es importante analizar si podemos diseñar el sistema con circuitos de iluminación separados a efectos de evitar el encendido de grandes áreas innecesariamente. El uso de reguladores de luz es otra medida a considerar, ya que se puede regular la intensidad lumínica en zonas cercanas a las ventanas aprovechando con ello al máximo la luz natural.



³. Recuperación de la inversión mayor a 7 años.














⁴. Únicamente para usos en bodegaje.

⁵. Uso mayor a 4000 Hr/año.

A nivel industrial y para aprovechar la luz natural al máximo, se debe tomar en cuenta que al instalar láminas de policarbonato industriales transparentes, se recomienda la no instalación de más de un 33% de la superficie del techo con este tipo de lámina. Esta medida reduce total o parcialmente el uso de lámparas durante el día.

También es importante seccionar circuitos, con el fin de evitar que con solo un interruptor se encienda todo el piso o nave industrial.

En cuanto a la instalación, tenemos que considerar los índices de reflectancia, por ejemplo en las paredes, suelos y cielo rasos se manejan los siguientes índices de reflectancia luminosa:

COLOR	FACTOR DE REFLEXIÓN	COLORES
Blanco	0, 70-0, 85	
Crema, amarillo claro	0, 50-0, 75	
Rosa	0, 45-0, 65	
Verde claro	0, 45-0, 65	
Azul claro	0, 40-0, 55	
Gris claro	0, 40-0, 50	
Rojo claro	0, 30-0, 50	
Marrón claro	0, 30-0, 40	
Marrón oscuro	0, 10-0, 20	
Rojo oscuro	0, 10-0, 20	
Verde oscuro	0, 10-0, 20	
Gris oscuro	0, 10-0, 20	
Azul oscuro	0, 05-0,15	
Negro	0, 03-0, 07	

A mayor reflectancia, menos requerimiento de potencia eléctrica es necesario en las luminarias.

3. Factor de uso: El factor humano se enfoca básicamente en los buenos hábitos para un uso eficiente y racional de la iluminación, esto se alcanza por medio de capacitaciones para sensibilizar al personal en cuanto al uso eficiente de la iluminación.

Causas de pérdida de Eficiencia Energética



Casos Prácticos

Sobre Iluminación

1. Un edificio de oficinas tiene 14 pisos con 240 lámparas fluorescentes T12 (2 tubos por luminaria) por piso de 40 Watt, balastro electromagnético con un fp de 1,2. Del total hay un 20% que se ubican cerca de las ventanas, el vidrio es polarizado pero permite el paso de la luz natural, operan 10 horas del día, 260 días al año.

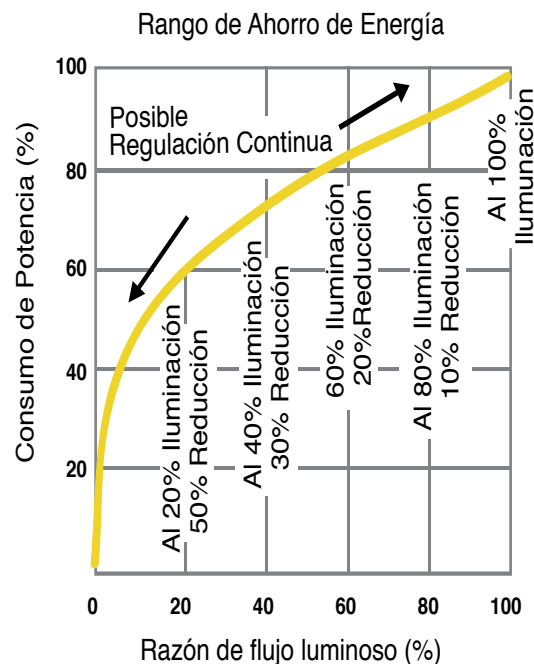
a) Valoración de reducción de energía por sustitución tecnológica con tubos T8 de 25 Watt con un factor de balastro de 0,9 y LED tubulares de 19 Watt.

b) Estime los ahorros anuales si en lugar de tener tubos T12 de 40 Watt, tenemos tubos T8 de 32 Watt con balastro electrónico de eficiencia estándar con un factor de balastro de 0,95.

c) Estimar según las lámparas instaladas en b) la regulación de intensidad de lámparas que están cerca de las ventanas, considerando la varianza de iluminación exterior de la siguiente manera:

- i. De 7:00 a.m. a 8:30 a.m. y de 3:30 p.m. a 5:00 p.m., se necesita que las luminarias trabajen al 80% de flujo luminoso.
- ii. De 8:30 a.m. a 10:30 a.m. y de 1:30 p.m. a 3:30 p.m., se necesitan en un 40%.
- iii. Y de 10:30 a.m. a 1:30 p.m. únicamente un 20%.

Estime los resultados según el gráfico mostrado a continuación:



Fuente: Panasonic Corporation Eco Solutions Company.
Energy Conservation in Lighting Equipment

a) Primeramente se calcula el consumo de energía anual actual según las lámparas instaladas

$$\text{kWh anuales} = \frac{240 \text{ lámparas} \times 40 \text{ W} \times 1,2 \text{ fb} \times 10 \text{ horas} \times 260 \text{ días} \times 14 \text{ pisos}}{1000}$$

$$\text{kWh anuales} = 419.328 \text{ kWh}$$

Donde "fb" es el factor de balastro.

Sustitución por Fluorescentes T8 de 25 Watt

En el caso de la sustitución por fluorescentes T8 de 25 Watt, balastro electrónico (fp = 0,9), se tiene un consumo de energía de :

$$\text{kWh anuales} = \frac{240 \text{ lámparas} \times 25 \text{ W} \times 0,9 \text{ fb} \times 10 \text{ horas} \times 260 \text{ días} \times 14 \text{ pisos}}{1000}$$

$$\text{kWh anuales} = 196.560 \text{ kWh}$$

Por lo tanto el ahorro anual sería de:

$$\text{Ahorro anual} = 419.328 - 196.560 = 222.768 \text{ kWh al año}$$

Sustitución por tubos LED de 19 Watt

Si se sustituyen por tubos LED de 19 W el consumo de energía es:

$$\text{kWh anuales} = \frac{240 \text{ lámparas} \times 19 \text{ W} \times 10 \text{ horas} \times 260 \text{ días} \times 14 \text{ pisos}}{1000}$$

$$\text{kWh anuales} = 165.984 \text{ kWh}$$

Por lo tanto el ahorro anual sería de:

$$\text{Ahorro anual} = 419.328 - 165.984 = 253.344 \text{ kWh al año}$$

b) De igual manera se calcula el consumo de energía anual para las lámparas T8 de 32 W

$$\text{kWh anuales} = \frac{240 \text{ lámparas} \times 32 \text{ W} \times 0,95 \text{ fb} \times 10 \text{ horas} \times 260 \text{ días} \times 14 \text{ pisos}}{1000}$$

$$\text{kWh anuales} = 265.574 \text{ kWh}$$

Ahorro Anual por sustitución de T8, 25 W y balastro de alta eficiencia es

$$= 265.574 - 196.560 = 69.014 \text{ kWh al año}$$

Ahorro Anual por sustitución con LED de 19 W

$$= 265.574 - 165.984 = 99.590 \text{ kWh al año}$$

c) De b) sabemos que el consumo de energía anual de los tubos T8, 32 W sin ninguna medida es de 265.574 kWh al año por lo tanto se analiza regulación de intensidad automática de las lámparas fluorescentes cercanas a las ventanas.

Considerando que únicamente el 20% de las lámparas se encuentran cerca de las ventanas, se tiene entonces 48 lámparas por piso cerca de las ventanas.

Considerando que únicamente se requiere un 80% de flujo luminoso durante 3 horas al día, un 40% solo 4 horas al día y un 20% solo 3 horas al día de flujo luminoso, entonces considerando los ahorros por reducción en los flujos luminosos según la gráfica arriba indicada, se tiene un consumo de energía por atenuación de luz de:

$$\text{kwh día} = 48 \text{ lámparas} \times 32 \text{ W} \times 0,95 (3\text{h} \times 0,9 + 4\text{h} \times 0,7 + 3\text{h} \times 0,5) / 1000$$

$$= 10,21 \text{ kWh /día}$$

$$\text{kwh anuales} = 10,21 \text{ kWh día} \times 260 \text{ días} \times 14 \text{ pisos}$$

$$\text{kwh anuales} = 37.164 \text{ kWh al año}$$

El consumo de las 48 fluorescentes T8 de 32 W con fp de 0,95 sin atenuación de luz es:

$$\text{kWh anuales} = \frac{48 \text{ lámparas} \times 32 \text{ W} \times 0,95 \text{ fb} \times 10 \text{ horas} \times 260 \text{ días} \times 14 \text{ pisos}}{1000}$$

$$\text{kWh anuales} = 53.115 \text{ kWh}$$

Por lo tanto el ahorro por la implementación de reguladores de intensidad luminosa es:

$$= 53.115 \text{ kWh} - 37.164 \text{ kWh}$$

$$= 15.951 \text{ kWh al año.}$$

2. Una nave industrial tiene 250 lámparas de mercurio de 250 Watt distribuidas equitativamente a lo largo y ancho de la nave industrial. Tienen un trabajo anual de 3.700 horas, las reflectancia de las paredes, piso y techo son de 0%.

Determine:

- a) El ahorro de en energía la reemplazarlas por lámparas de sodio de alta presión
- b) Considere un valor superior a 85% de índice de rendimiento de color (IRC), ¿qué opciones podríamos estimar?

a) Determinación del ahorro de energía anual

Según fabricantes, las lámparas de mercurio de 250 Watts emiten 12.100 lúmenes, si las comparamos en cuanto a intensidad lumínica, la lámpara de sodio de alta presión de 150 Watts emite 16.000 lúmenes, por lo tanto

La potencia ahorrada por lámpara está dada por:

$$kW = (\# \text{ lámparas}) [W_{\text{actual}} / \text{lámpara}] - (W_{\text{propuesta}} / \text{lámpara}) \cdot 1.000$$

$$kW = (250) [(250 \text{ watts} / \text{lámpara}) - (150 \text{ watts} / \text{lámpara})] = 25 \text{ kW}$$

El ahorro de energía anual está dado por:

$$kWh \text{ anual} = (\text{Ahorro en potencia}) \times (\text{horas anuales de operación})$$

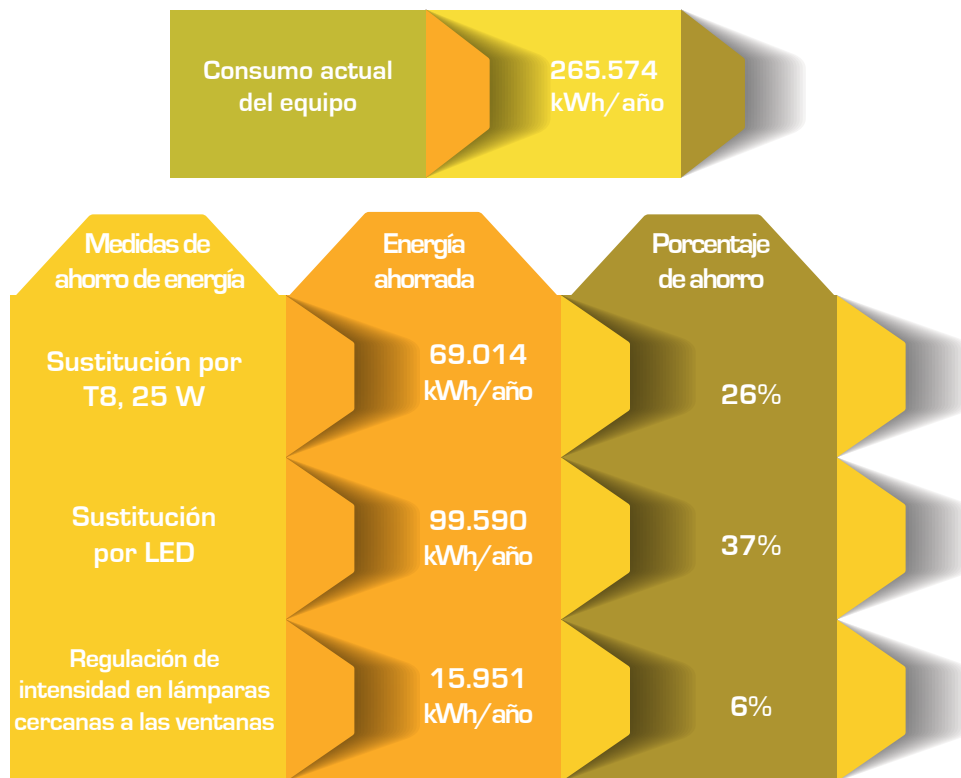
$$kWh \text{ anual} = (25 \text{ kW}) (3.700 \text{ hrs/año}) = 92.500 \text{ kWh/año}$$

b) Si tenemos como requisito un IRC superior al 85%, esta condición solo la cumplen las lámparas de halogenuros metálicos y las fluorescentes T5.

Para la sustitución de las lámparas de vapor de mercurio de 250 W de 12.100 lúmenes, se analiza nuevamente la información de los fabricantes, en este caso las lámparas de halogenuros metálicos, ofrecen la lámpara de 150 W que emite 12.500 lúmenes, cuyo ahorro anual es de 92.500 kWh al año.

Si se analiza la utilización de fluorescentes T5, se reemplazaría por luminarias de 2 tubos de 54 W, con un factor balastro de 1.2 y 12.000 lúmenes, la potencia requerida sería de 130 W, por lo tanto el ahorro sería de 111.000 kWh al año.

Resumen de ahorros de energía:



El gobierno alemán, por medio de la cooperación alemana Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), apoya la región centroamericana a través de su Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética (4E) en mejorar las condiciones marco, así como las capacidades tanto institucionales como personales, para el fomento de las energías renovables, la eficiencia energética y la mitigación del cambio climático. Es en el marco de este proyecto que la GIZ apoya al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en la elaboración del presente producto informativo, con el fin de promover el uso racional y eficiente de la energía, así como un aprovechamiento estratégico y sostenible de las fuentes renovables de energía disponibles en Costa Rica.

BUENAS PRÁCTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA Iluminación Industrial



Contenido elaborado por:
Gerencia Electricidad
UEN Servicio al Cliente
Área Conservación de Energía

Teléfonos
(506) 2000-7460
(506) 2000-5673
(506) 2000-8041

eficienciaenergetica@ice.go.cr

www.grupoice.com