

Factores del ahorro de la iluminación

...una forma fácil para el ahorro

El ahorro en iluminación es el resultado de muchos factores, donde la mayoría están mal entendidos. Existen muchos términos; eficiencia, eficacia, Watts, lúmenes, lúmenes/Watt, Watts/m², coeficientes de utilización, BEF, BF, CU, FB, y muchos otros. Pero todo esto no le da el dato mas importante del ahorro, cual tiene la unidad de medida mas conocida: pesos y centavos.

¿Como ir de la confusión a lo simple? Puede contratar expertos, seguir recomendaciones, conformar con normas, pero todas son complicadas. La solución sencilla es tan solo usar productos Bekolite. ¿Por que Bekolite? Por qué para Bekolite el ahorro no es una moda ó una necesidad, sino la forma de como se hacen las cosa desde hace mas de 50 años. Resulta que al ofrecerle el mejor producto, este tenía que ser altamente eficiente.

La lámpara, el conjunto óptico, el sistema eléctrico, el entorno, y el observador determina el grado de ahorro de la iluminación. La lámpara es el punto de partida para la eficiencia del sistema, puesto que los demás componentes representan pérdidas eléctricas ó de luz.

Lámparas

La eficacia¹ máxima teórica para una fuente luminosa (en el color mas sensible del ojo) es de 680 lúmenes por Watt, y para luz blanca es de 240 lúmenes por Watt. Estos solo son valores teóricos, y ninguna fuente actual alcanza mas

¹ Eficacia es la relación de la energía de salida a la de entrada dada en términos disimilares, mientras que eficiencia no tiene unidad de medida.

que una fracción. En el caso de sodio en baja presión, la eficiencia es menor a 35%.²

Entre los procesos mas ineficientes para generar luz visible esta la incandescencia, que es el proceso por el cual los focos incandescentes producen luz. Esto se debe a que la mayor parte de la energía es disipada en forma que no es visible. Los focos incandescentes ordinarios tan solo llegan a una eficiencia de alrededor de 8%.³ Pero las lámparas incandescentes tienen su lugar, ya que ofrecen una fuente de luz sencilla, de encendido instantáneo, atenuable, y con la mejor respuesta de color.

Las lámparas fluorescentes tienen una eficacia de alrededor de 80 lúmenes por Watt y 60 lúmenes por Watt para las lámparas compactas, y llevan la complicación de un balastro. El balastro implica pérdidas eléctricas por lo que es importante cuidar la selección del balastro, puesto que algunos tienen mas de 30%⁴ en pérdidas. Muchas veces ni se mencionan las pérdidas del balastro, como en el caso de las lámparas compactas que pueden tener mas de 30%.

Las lámparas fluorescentes necesitan una aplicación distinta de las incandescentes, por ser una fuente lineal y de baja brillantez. Su uso generalmente requiere que estén cerca de la tarea a iluminar y que se formen filas o áreas de luminarias. Como vienen en distintos *colores* de blanco, se puede adecuar el uso.⁵ Aun con las ventajas hay varias desventajas entre las cuales están la sensibilidad a temperatura y corrientes de aire, los cátodos, los balastos y su contenido de mercurio entre otras.

² Para radiación visible de la fuente mas eficiente

³ La diferencia en espectros de emisión causa que las eficiencias no sean directamente comparables.

⁴ Estos porcentajes de pérdidas son la relación de pérdidas a la potencia nominal de la fuente luminosa.

⁵ Por ejemplo una fuente con pocos verdes o azules para carnes, o una con mucho verde para verduras

Otras fuentes de luz son de descarga en gas en alta presión. El más ineficiente de los tres tipos comúnmente usados es mercurio con apenas una eficiencia del 15%. A esta le siguen aditivos metálicos con casi 24%, y sodio en alta presión con el 30%. La siguiente tabla presenta varios datos para las fuentes de luz más comunes.

Lámpara	Rango de potencias (Watts)	Eficiencia Inicial (lúmenes /watt)	% Lúmenes mantenidos	Vida (h)
Incandescente	3-10000	14-22	90	0.75k - 4k
Halógeno Tungsteno	50-1500	17-22	98	2k-6k
Luz mixta	160-750	12-24	80	12k-16k
Vapor de mercurio	40-1000	40-55	60-78	24k
Sodio en alta presión	35-1000	55-140	90	10k - 24k
Fluorescente compacto	7-40	50 - 80		10k - 20k
Fluorescente	15-215	65 - 100	85-90	7.5k - 24k
Aditivos metálicos	32-1500	80-122	0.75	3k-20k
Sodio en baja presión	18-180	95-183	100	18k
Aditivos metálicos	70-450	80-112	80	10k-20k

Falta hacer la aclaración que el ojo tiene dos clases de sensores, unos para poca luz (bastones) y otros para condiciones normales (conos). La diferencia principal en relación a la eficiencia, es que estos sensores no perciben la iluminación con la misma intensidad, ya que la respuesta al color se mueve de amarillo verdoso al azul verdoso en poca luz. La medida de lúmenes están basados en la sensibilidad de los conos, por lo cual las fuentes con un alto contenido de luz amarilla verdoso tienen mayor eficiencia.

Existe en el alumbrado de calles un rango donde están activos tanto los conos como los bastones, por lo cual es importante considerar la eficiencia de la fuente de luz para ambos sensores. Debido

a esto, en niveles de baja iluminación las lámparas de aditivos metálicos tienen una mayor eficiencia que las de sodio. Un ejemplo que demuestra esto es que en aditivos metálicos no se presenta el efecto túnel⁶. La siguiente tabla demuestra cuantas veces mayor iluminación se requiere para lograr un mismo tiempo de reacción en el conductor.

	Calle principal ⁷	Calle secundaria ⁸
Aditivos Metálicos	1	1
Incandescente	1.5	2.9
Mercurio	2.4	4.4
Sodio en alta presión	3.9	7.8
Sodio en baja presión	4.8	14.6

Conjunto óptico

Es la parte responsable de dirigir la luz hacia el área de trabajo, y dependiendo del diseño puede reducir de manera dramática la eficiencia. Esta disminución puede ser paulatina como en el caso de refractores prismáticos, o imperceptible en el caso de un mal diseño.

Un ejemplo que demuestra esto en ambos casos son las campanas industriales. Las acrílicas aun cuando tienen un buen diseño óptico, tienen un uso limitado porque más del 20% de la luz del foco se dirige al techo, y se reduce con el tiempo por acumulación de polvo y mugre en la superficie exterior del refractor. También son altamente dependientes del entorno, ya que la forma de espacio a iluminar⁹ y las superficies pueden afectar la eficiencia óptica de estas campanas.

Por otro lado algunas campanas metálicas suelen ser exactamente eso; campanas metálicas. Tan pobres que no logran llegar ni al 60% de coeficiente de utilización, y por eso se necesita usar hasta 30% más luminarias, que

⁶ Los entornos se ven mucho más brillante, porque la visión periférica está compuesta principalmente de bastones.
⁷ Calle con una luminancia de 1.0 cd/m²
⁸ Calle con una luminancia de 0.1 cd/m²
⁹ Consultar el método de cavidad zonal

representan un gasto adicional importante, y de un consumo adicional de al menos 30% mas de energía.

Sistema Eléctrico

Muchas de las fuentes luminosas necesitan un acoplamiento al suministro eléctrico, o de lo contrario la lámpara podría dañarse. Este acoplamiento provee de las condiciones necesarias para el arranque y la operación de la lámpara, y se logra mediante un balastro específico a cada fuente. Como todo equipo eléctrico tiene pérdidas, por lo cual es importante analizar el costo-beneficio de las distintas alternativas seleccionadas.

Las pérdidas de un balastro electromagnético tienen principalmente tres componentes. Las pérdidas mas directas vienen del alambre que opone resistencia al flujo de la corriente y como resultado se calienta. Esto por su parte causa que el alambre aumente mas su resistencia y se caliente aún mas. Por esto, en Bekolite se usa alambre de cobre con calibres sobrados para mantener bajas las pérdidas por resistencia. Debido a que la vida de los componentes eléctricos se reduce a la mitad por cada 8°–10° C de elevación, para garantizar la vida del embobinado en Bekolite se usa alambre con aislamiento clase 200° C aun cuando la elevación de temperatura sea de 50-60° C.

Otro componente de las pérdidas provienen de una corriente circulando en el interior de la laminación del núcleo magnético del balastro. Estas se conocen como corrientes Eddy, y es la razón por la cual se usan laminaciones delgadas en balastros y transformadores. En Bekolite utilizamos lámina muy delgada de alta calidad, y con un aislante especial.

El último componente de las pérdidas proviene de

la inercia que presenta una resistencia al alinear los campos magnéticos. A estas pérdidas se les denominan pérdidas por histéresis, y la única manera de resolver esto es usar una mejor clase de acero. En Bekolite usamos de la mejor clase, es decir lámina de acero al silicio de grano orientado tipo M-5, la misma que se utiliza en los grandes transformadores de distribución.

Diseño eléctrico

Todo esto en combinación con el diseño del balastro, determina las pérdidas del sistema eléctrico. Las pérdidas de un balastro de sodio en alta presión autoregulado para 250 W tiene pérdidas de 40 a 45 Watts, pero un balastro Bekolite tiene tan solo 24 Watts que representa un ahorro de mas de 40%. Mientras que un balastro de 100 W autoregulado para lámpara de 100 W de sodio en alta presión tiene pérdidas de 24 a 30 Watts. Bekolite tiene tan solo pérdidas de 16 Watts, lo cual también es un ahorro de 40%,

Por otra parte los balastros Bekolite permiten una mejor operación de la lámpara al tener una forma de onda de corriente lo mas cerca posible a la de una senoide.¹⁰ La medida de mérito que se utiliza es el factor de cresta, y el ideal es $\sqrt{2}$.¹¹ Esto permite que no existan momentos muertos donde no se produce luz, y ni fuerza que el pico de la corriente sea mayor de lo necesario, ya que los balastros Bekolite no distorsionan la corriente que el foco recibe. Como resultado los balastros Bekolite producen mas luz y tienen una mayor vida¹² que un balastro autoregulado.

También existe un ahorro intangible, puesto que asumimos que todos los balastros son de igual

¹⁰ La senoide es la forma que la corriente tendría a través de una resistencia

¹¹ Esto obedece a la relación entre la corriente RMS y la corriente pico de una senoide

¹² Debido a que los balastro autoregulados tienen una corriente pico mucho mayor, que causa que los electrodos de la lámpara sean desgastados prematuramente.

calidad. La experiencia ha demostrado que esto no es así, y que algunos balastos tienen una vida corta. Un balastro debería tener una vida útil no menor a diez años, pero existen en el mercado productos que tan solo duran unos cuantos años. Aparte del costo directo (partes y trabajo) que representa el tener que cambiar el balastro, existe un costo intangible al medio ambiente por tener que requerir mas acero, cobre, polímeros, y energía. La siguiente tabla demuestra cuantos balastos se necesitan para distintos períodos de vida.¹³

¹³ Se considera el periodo de vida cuando el 50% de los balastos dejen de operar

Años de uso	Vida en años del balastro									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.2	1.5	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3	2.9	2.0	1.5	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4	3.6	2.3	1.9	1.5	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
5	4.2	2.7	2.0	1.9	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
6	4.9	3.1	2.3	2.0	1.8	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0
7	5.5	3.5	2.7	2.1	2.0	1.8	1.5	1.3	1.1	1.1
8	6.2	3.9	3.0	2.3	2.0	1.9	1.8	1.5	1.3	1.1
9	6.9	4.3	3.2	2.7	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.3
10	7.5	4.7	3.5	2.9	2.4	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5
11	8.2	5.1	3.8	3.1	2.6	2.2	2.0	2.0	1.9	1.7
12	8.9	5.5	4.1	3.2	2.9	2.4	2.1	2.0	2.0	1.8
13	9.5	5.9	4.3	3.5	3.0	2.6	2.2	2.1	2.0	1.9
14	10.2	6.3	4.7	3.8	3.1	2.8	2.4	2.1	2.0	2.0
15	10.9	6.7	4.9	4.0	3.3	2.9	2.6	2.2	2.1	2.0
16	11.5	7.1	5.2	4.2	3.5	3.0	2.8	2.4	2.2	2.1
17	12.2	7.5	5.5	4.4	3.7	3.2	2.9	2.6	2.3	2.1
18	12.9	7.9	5.8	4.6	3.9	3.3	3.0	2.7	2.4	2.2
19	13.5	8.3	6.1	4.9	4.1	3.5	3.1	2.9	2.6	2.3
20	14.2	8.7	6.4	5.1	4.2	3.7	3.2	3.0	2.7	2.4
21	14.9	9.1	6.6	5.3	4.4	3.8	3.3	3.0	2.8	2.6
22	15.5	9.5	6.9	5.5	4.6	4.0	3.5	3.1	2.9	2.7
23	16.2	9.9	7.2	5.7	4.8	4.1	3.7	3.2	3.0	2.8
24	16.9	10.3	7.5	6.0	5.0	4.2	3.8	3.4	3.1	2.9
25	17.5	10.7	7.8	6.2	5.1	4.4	3.9	3.5	3.2	3.0
26	18.2	11.1	8.1	6.4	5.3	4.6	4.0	3.6	3.3	3.0
27	18.8	11.5	8.3	6.6	5.5	4.8	4.2	3.8	3.4	3.1
28	19.5	11.9	8.6	6.8	5.7	4.9	4.3	3.9	3.5	3.2
29	20.2	12.3	8.9	7.1	5.9	5.0	4.4	4.0	3.6	3.3
30	20.8	12.7	9.2	7.3	6.0	5.2	4.6	4.1	3.7	3.4

Esta tabla permite evaluar cuantos balastros son necesarios a través de la vida de una instalación. La tabla considera el balastro instalado inicialmente, y es por lo que todas las columnas empiezan en uno.

Si un balastro tiene una vida promedio de 4 años, y consideramos una vida de 15 años de la instalación, serán necesarios 4 balastros.

Comparando con balastros de distintas vidas permite ver cuantos balastros serían necesarios. La fila de 15 años demuestra que se necesitarán 6.7 balastros con vida de 2 años (aun cuando no se reemplazan fracciones de balastros, permite evaluar cuantos balastros serán necesarios en una instalación de 100 luminarias), y dos balastros de vida de 10 años.

También permite hacer evaluaciones de costos comparativos con el balastro de 4 años. En el caso del balastro con vida de 2 años, este debería costar menos del 60 % del de 4 años. Mientras que el balastro de 10 años puede costar mas del doble que el de 4 años. Estos factores de 60% y de 2 veces permiten equiparar los precios de balastros.

Ejemplo:

La siguiente tabla demuestra cuanto termina pagando por un balastro barato. Si se considera un balastro que tenga una vida de 5 años como base, se puede ver cuanto costaría un balastro de menor calidad, pero hay que recordar que esta comparación no contempla inflación, el costo del trabajo, ni intangibles. Se puede ver que un balastro con una vida de un año debería costar menos de una tercera parte, mientras que un balastro con una vida de dos años debería costar menos de la mitad. Por el otro lado un balastro que tenga una vida de 10 años, le debería costar menos del doble. Es importante recordar esto, puesto que a lo largo de la vida de la instalación terminará pagando mas que esta diferencia.

Vida en años del balastro	Precio comparativo
1	29%
2	48%
3	66%
4	83%
5	100%
6	117%
7	132%
8	148%
9	161%
10	179%

Entorno y Observador

Aun cuando la combinación de la fuente de luz, conjunto óptico y sistema eléctrico determina la eficiencia básica del alumbrado, el entorno determina la aplicación, al igual que factores externos. Por lo cual no se puede diseñar un proyecto sin evaluar el entorno, como las

superficies, configuración de la estructura, iluminación existente, etc. También es importante considerar al observador, puesto que puede alterar los requerimientos de alumbrado, propósito del alumbrado, deslumbramiento, etc.

Un punto al cual se le da poca importancia pero tiene un efecto primordial en la calidad del alumbrado, es el deslumbramiento. Esto es un componente de luz directa de la fuente que penetra en el ojo del observador, disminuyendo la habilidad de percibir lo que se desea ver. Por esto también tiene una contribución a la eficiencia, ya que se requiere de un mayor nivel de iluminación para poder realizar la tarea adecuadamente. Esta es una de las razones por la cual han tenido tanto éxito las pantallas parabólicas para lámparas fluorescentes, ya que evitan el poder observar directamente la fuente luminosa.

A fin de cuentas...

Lo que el cliente quiere saber es cuanto dinero le va a costar y no basta evaluar el costo inicial, por lo que se tiene que considerar a lo largo de la vida de la instalación. El dueño ó usuario de la instalación tiene que involucrarse en el diseño de la iluminación, porque no siempre se cuida el costo final.

Es necesario evaluar las distintas opciones¹⁴ durante el periodo en el cual se tendrá la instalación. Para este ejemplo se considera que se rentará el local durante cinco años, y se iluminarán 1000 m², a un nivel mantenido de 500 luxes con distintas alternativas. Se considera que la instalación opera 300 días al año, durante 10 horas al día, y por simplicidad un costo de electricidad de 1 peso por kW-h.

¹⁴ Ver la siguiente tabla. No se considero lámparas de mercurio, ya que solo se recomienda para alumbrado nocturno de áreas verdes.

Como se puede ver la solución mas barata es la incandescente, donde se termina pagando hasta 6 veces mas que las demás. Aun con el precio por foco de tan solo cinco pesos, lo que se termina gastando en intangibles,¹⁵ es mucho más.

Un punto interesante es el de la luz mixta, que se considera como una fuente barata. Debido a lo poco eficiente de la lámpara,¹⁶ se requiere un gran número de luminarias, implicando un fuerte gasto inicial y eléctrico. Esto se demuestra mediante el gasto total, que tan solo es 30% menor a las lámparas incandescentes.

Las lámparas fluorescentes suelen ser una de las mejores alternativas para el interior, donde la altura del techo no permite usar lámparas de descarga (reemplazar). La ventaja que tienen las lámparas HID es una mayor eficiencia, un mejor diseño óptico (por ser una fuente puntual), y sobre todo un menor mantenimiento. E mantenimiento es un gasto mucho mayor que lo que pueden representar los balastos o focos.

Como en todo hay alternativas, algunas mejores que otras. La tabla demuestra que las luminarias Bekolite son las mas eficientes, aún los aditivos metálicos de Bekolite son mas eficientes que las luminarias de Sodio de otros fabricantes. Esto se debe a la alta eficiencia de las lámparas, conjuntos ópticos, sistemas eléctricos y los diseños de los balastos, que permiten un excelente uso de la energía eléctrica, y sobre todo de su dinero.

...una forma fácil para el ahorro es con Bekolite

¹⁵ Tales como mantenimiento y energía. Aun cuando se conoce lo que se pagaría en energía, muchos usuarios no consideran este gasto porque se diluye en el recibo por electricidad.

¹⁶ Aun cuando esta fuente es mas eficiente que halógeno tungsteno, no deja de ser de las mas ineficientes. Por esto lo mismo seria valido para halógeno-tungsteno, que se ha puesto de moda por las lámparas dicroicas.