

CUESTIONARIO CAPÍTULO 13

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ILUMINACIÓN EFICIENTE

Elijan las respuestas correctas entre las cuatro posibilidades que siguen cada ítem abajo:

1. **La rentabilidad de la iluminación eficiente depende principalmente de:**
 - Costo del sistema eficiente y no eficiente, el precio de la energía, horas de encendido y vida útil de los componentes. **(CORRECTO)**
 - Precio de la energía, consumo de la energía del sistema eficiente y no eficiente.
 - Precio de la energía, costo del sistema eficiente y no eficiente, y las horas de encendido.
 - Costo del sistema eficiente y no eficiente, y el precio de la energía

2. **Para una comparación económica entre distintas alternativas de iluminación, conviene**
 - Sumar las inversiones y gastos operativos a lo largo de la vida útil de los elementos.
 - Comparar la inversión con el gasto energético en el primer año
 - Convertir las inversiones y los gastos operativos a su valor inicial **(CORRECTO)**
 - Comparar la tasa de descuento con el precio de la energía

3. **Con una tasa de descuento de 15% ¿qué valor tendría un peso de hoy al cabo de un año?**
 - \$0,85
 - \$1,15 **(CORRECTO)**
 - \$1,50
 - \$0,15

4. **Una evaluación económica con el “Costo durante la vida útil” se puede hacer para uno de los siguientes casos. ¿Cuál?**
 - Una lámpara incandescente de 100 W y una lámpara fluorescente compacta de 11 W.
 - Dos lámparas fluorescentes de la misma potencia y vida útil, pero de distintos valores de eficacia luminosa. **(CORRECTO)**
 - Un sistema de lámpara fluorescente de 36 W con balasto electromagnético y otro de 36 W con balasto electrónico.
 - Una lámpara incandescente de 75 W y una lámpara fluorescente compacta de 20 W.

5. **Tenemos que comparar una lámpara incandescente de 75 W (vida útil 1000 horas) con una fluorescente compacta de 20 W (vida útil 6000 horas) en un punto de luz que tendría encendido de 2,74 horas por día todo el año. Si los precios de las lámparas fueron \$1,20 y \$13 respectivamente, la tasa de descuento fuera 0,15 y el precio de la electricidad fuera \$0,10 por kWh, ¿cuál de las siguientes resultados es falso? (hay uno sólo)**
 - La lámpara incandescente duraría 1 año.

- El costo anualizado de la compra de la fluorescente compacta es \$1,38.
- El costo del consumo energético anual de la incandescente es \$7,50
- El costo anualizado total de la fluorescente compacta es \$3,43.
(CORRECTO, ES DECIR ESTE “RESULTADO” ES FALSO.)

Preguntas y respuestas

Iluminación residencial

1. Se puede comprar una lámpara fluorescente compacta alemana de 20 W o una china de 23 W para reemplazar una incandescente de 100 W. La alemana cuesta \$ 23 y la china \$ 13. La vida útil de la lámpara alemana es de 10.000 horas. ¿Cuál es la mínima vida útil de la lámpara china para que ésta sea más rentable. Considere 4 horas de encendido por día. Precio de la electricidad: \$ 0,11/kWh.

Consideramos la opción más económica, aquella que permite reducir los costos totales (costo de compra + costo de operación). Cuando las distintas alternativas tienen la misma vida útil, la mejor opción es aquella que tiene el menor valor de CVU (Costo durante la vida útil). En este caso, ya que se trata de comparar alternativas con diferente vida útil, el costo *anualizado* total es el mejor indicador, donde se compararían los costos anuales de comprar y operar cada alternativa.

Para determinar el costo anualizado debemos calcular la vida útil de las alternativas en años. Está dada por la vida útil en horas dividido por $(365 * 4)$, considerando cuatro horas de encendido por día.

El consumo energético anual (kWh) de cada alternativa está dado por el producto de la potencia (W) y las horas de uso anuales dividido por 1000 (para convertir watt horas en kWh).

El costo de operación de cada alternativa está dado por el producto del consumo energético anual (kWh) y el precio por kWh.

Los datos y cálculos básicos de las distintas alternativas se presentan a continuación.

Opción	Vida útil horas	Vida útil años	Precio inicial \$	Costo energético anual, \$
Incandescente, 100 W	1000	0,685	\$1,50 (suposición)	\$ 16,06
LFC alemana, 20 W	10.000	6,85	\$ 23	\$ 3,21
LFC china, 23 W	L	$L / (365 * 4)$	\$ 13	\$ 3,69

Hasta ahora tenemos el costo inicial y el costo energético anual de cada alternativa. Para poder comparar estas alternativas necesitamos los costos anualizados totales (CAT) de cada alternativa.

El CAT es la suma del costo anualizado del precio inicial + el costo energético anual.

La determinación del costo anualizado del precio inicial requiere la determinación del FRC (factor de recuperación de capital) que, a su vez, depende de la tasa de descuento.

En esta pregunta, como en la vida real, nadie nos indica qué valor de la tasa de descuento a elegir.

La persona que está tomando la decisión debe decidir.

Supongamos que la tasa de descuento real es 10% por año.

En términos de la Ec. 6 del capítulo 13, $i = 0,1$.

FRC está dado por la Ec. 6:

$$FRC = \left[\frac{i \times (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] \quad (6)$$

N es la vida útil de la inversión (en este caso una lámpara) en años.

N = 0,685 año para la incandescente, 6,85 años para la LFC alemana y una función de L para la LFC china.

En primera instancia comparamos la incandescente con la LFC alemana.

FRC (incandescente) = 1,58

FRC (LFC alemana) = 0,209

En la tabla a continuación comparamos estas dos opciones, agregando los datos conocidos para la tercera opción.

	Costo inicial, \$	FRC	Costo inicial anualizado, \$/año	Costo operativo anual, \$/año	Costo anualizado total, \$/año
Incandescente, 100 W	1,50	1,58	2,37	16,06	18,43
LFC, 20 W	23	0,209	4,81	3,21	8,02
LFC, 23 W	13			3,69	

No debe sorprendernos que el CAT para la LFC de 20 W es muy inferior al valor de la incandescente.

En este ejercicio no fuimos informado respecto al precio de la incandescente. Los resultados presentados arriba se basan en un precio supuesto de \$1,50. Sin embargo, el costo anualizado total de una incandescente está dominado por el costo operativo, es decir por el consumo de energía. Aun si el precio de la incandescente fuera cero, el CAT hubiera sido \$16,06, el doble del de la LFC.

Moraleja: Aún regalada, una lámpara incandescente no es económica.

Para que la LFC china gane a la alemana, su CAT debe ser menor a \$8,02. Conocemos su costo operativo anual, \$3,69. Entonces, para ganar, su costo inicial anualizado debe ser menor a $\$ (8,02 - 3,69) = \$ 4,33$.

Considerando que esta lámpara tiene un costo inicial de \$13, el FRC debe ser mayor a $4,33/13 = 0,333$.

La Ec. 6 es no lineal por lo cual no existe una manera analítica de determinar el valor de “n” a partir del valor de “i” y FRC.

En la tabla siguiente, realizada en Excel, se hizo una serie de prueba y error con distintos valores de N hasta llegar al valor que daría $FRC = 0,333$. Arrancamos la tabla con los dos valores ya establecidos, para la incandescente y la LFC alemana.

N	i	FRC
0,685	0,1	1,58223142
6,85	0,1	0,2085711
5	0,1	0,26379748
4	0,1	0,3154708
3	0,1	0,4021148
3,5	0,1	0,35254784
3,7	0,1	0,33650181
3,75	0,1	0,33276035
3,74	0,1	0,33350056

Según este cálculo, la LFC china tiene que durar más de 3,74 años para que resulte más económica que la alemana.

Con 4 horas de uso diario, esto implica una vida útil mínima de $3,74 * 365 * 4 \text{ horas} = 5460 \text{ horas}$.

Nota. El uso de “alemana” y “china” en este ejemplo no implica que todas las LFC de Alemania tienen larga vida, ni que todas las chinas son de baja vida. De hecho, China es hoy el principal fabricante de LFC a nivel mundial y algunos modelos chinos son de muy larga vida.

Para ver la lista de LFC que cumplan con la normativa ELI de calidad y eficiencia, ver el archivo “[Qualified CFL 9dec04.pdf](#)” en el material complementario de este Seminario de Iluminación Eficiente. Esta lista es de diciembre del 2004, la más actual en el momento de elaborar este curso. Para actualizaciones en la lista, consultar a [//efficientlighting.net/products](http://efficientlighting.net/products).

- Don Manolo reemplazó tres lámparas incandescentes por fluorescentes compactas con balastos electrónicos y de comparable nivel de lúmenes. Las tres lámparas que se utilizaban antes eran: una de 100 W encendida 3 horas por día, una de 60 W durante 6 h/día y una de 75 W por 5 horas diarias. El precio de las incandescentes es \$0,75 cada una, las fluorescentes \$25 cada una. Don Manolo ha comprobado con el programa ELI que la vida útil de los dos tipos de lámparas son 1000 h y 6000 h respectivamente. Don Manolo paga \$0,12 por kWh de electricidad. ¿Es rentable la compra de las fluorescentes bajo estas circunstancias? Si lo es, ¿cuanto \$/año estaría ahorrando en total? Especifique sus suposiciones adicionales.

La pregunta no especifica la potencia de las LFC. Típicamente los valores declarados por los fabricantes para LFC con balasto electrónico implican que una LFC con el mismo flujo luminoso que una incandescente tiene una potencia cinco veces menor. El flujo luminoso es la emisión de luz en todas las direcciones. Sin embargo, las lámparas no iluminan en todas las direcciones por igual. Por ello, la iluminancia producida por una lámpara depende de la posición de la lámpara respecto a las superficies a iluminar. Por otro lado, el flujo luminoso total de una LFC depende de su orientación. La norma ELI para LFC (ver la última revisión en inglés, “[ELICFLSpec.pdf](#)” o una versión anterior traducida “[Norma ELI para LFC jun00.pdf](#)”) especifica que se realicen mediciones con la base de la lámpara hacia arriba.

En aplicaciones típicas, mediciones realizadas por Carlos Tanides (FI-UBA) indican que una relación de potencia de cinco a uno entre incandescente a LFC deja un déficit en la iluminancia con la LFC. Por ello, se ha recomendado una sustitución con una relación de potencia de cuatro a uno para que el usuario de la LFC este conforme.

Por otro lado, es posible que los usuarios de lámparas incandescentes usen lámparas incandescentes de menor potencia (y menor flujo luminoso) que quieran por una cuestión de costo energético. El estudio de mercado residencial realizado por ELI en el 2000 mostró que las incandescentes de 60 W son las más comunes, mientras que para las LFC, las más comunes son de 20 W (ver “[Estudio de Mercado Residencial ELI 2000.ppt](#)”, láminas 9 y 10 con sus respectivas páginas de notas).

Por ello, recomendamos las siguientes equivalencias para este ejercicio (y para la vida real):

Incandescente, W	LFC, W
100	23
75	20
60	15
40	11

Nuevamente el indicador económico más conveniente es el Costo anualizado total (CAT). En este ejemplo, tampoco estamos informado respecto al valor correcto de la tasa de descuento. Los cálculos presentados a continuación se basan a una tasa de descuento del 10% anual.

Opción	Vida útil horas	Horas por día	Vida útil años	Precio inicial, \$	Precio inicial anualizado, \$	Costo energético anual, \$	Costo anualizado total, \$
Incand., 100 W	1.000	3	0,91	0,75	0,90	13,14	14,04
LFC, 23 W	6.000	3	5,48	25	6,14	3,02	9,16
Incand., 75 W	1.000	5	0,55	0,75	1,47	16,42	17,89
LFC, 20 W	6.000	5	3,29	25	9,29	4,38	13,67
Incand., 60 W	1.000	6	0,46	0,75	1,75	15,77	17,52
LFC, 15 W	6.000	6	2,74	25	10,88	3,94	14,82

Conclusión: en los tres casos, la LFC es la mejor opción, bajo nuestras suposiciones. El CAT total de la opción incandescente es \$ 49,45, mientras que para la opción LFC suma \$37,65.

Alumbrado público.

3. Como se comentó en la sección 13.3, una instalación de alumbrado público eficiente comprende de usos de lámparas de sodio de alta presión, por ejemplo con potencias de 150 W y de 250 W.

Considere una luminaria con lámpara de mercurio de 400 W, que se opera durante 4000 horas al año. Considere que el equipo auxiliar suma 40 W a la potencia de la lámpara. Considere que se propone reemplazar la lámpara de mercurio de 400 W por una de sodio de 250 W. Junto con el equipo auxiliar, el consumo sube a 275 W. Considere un costo de energía para el alumbrado público de \$ 0,12 por kWh. El reemplazo de la lámpara de mercurio por una de sodio costaría \$350 (si fuera hecho en cantidad) considerando el costo de la lámpara, el equipo auxiliar, el ignitor y la instalación. Considere la vida útil típica de cada lámpara.

- ¿Cuál es el flujo luminoso de cada una de las dos lámparas?
- ¿Cuál es el costo energético anual de operación de cada una?
- ¿Es rentable el reemplazo de la lámpara de mercurio con la de sodio? Explique sus criterios de decisión.

La tabla 3 del capítulo 4 indica que una lámpara de vapor de mercurio tiene una eficacia luminosa de 50 lm/W. Los fabricantes importantes publican las especificaciones de sus lámparas en catálogos y fichas técnicas, algunos de los cuáles están disponibles en Internet.

A continuación tabulamos valores de flujo luminoso típicos de los principales fabricantes.

Vapor de mercurio alta presión	
Potencia, W	Flujo luminoso, lm
50	1.800
80	3.800
125	6.300
250	13.000
400	22.500
700	40.000
1000	58.000

Vapor de sodio alta presión	
Potencia, W	Flujo luminoso, lm
50	3.500
70	5.600
150	14.000
250	25.000
400	47.000
1000	128.000

Se observa que la lámpara de sodio de 250 W genera 25.000 lm, superando los 22.500 lm de la lámpara de mercurio que estaría reemplazando.

El costo energético de operación anual de la lámpara de mercurio de 400 W — encendido 4000 horas anuales— está dado por: $(400 + 40) * 4000 * 0,12/1000 = \$ 211$.

El costo de operación anual de la lámpara de sodio de 250 W, encendido 4000 horas anuales, está dado por: $(250 + 25) * 4000 * 0,12 / 1000 = \132 .

El costo de la sustitución es \$350. La pregunta no dice nada respecto a la edad de la lámpara existente. Si fuera una cuestión de elegir entre dos lámparas nuevas para una instalación nueva, utilizaríamos el CAT de cada alternativa para determinar la rentabilidad o no de elegir la opción más eficiente.

En este caso, se trata de una instalación existente. El peor caso de rentabilidad se daría cuando la lámpara de mercurio a reemplazar es relativamente nueva. En este caso, el CAT de utilizar la lámpara existente está dado por el costo operativo anual, es decir \$211.

El CAT del sistema de sodio está dado por el costo anualizado de la nueva instalación (\$350 anualizado) más el costo energético anual (\$210).

Según la tabla 3 del capítulo 4, la lámpara de sodio tiene una vida útil de 16.000 horas. Con un uso de 4000 horas anuales, la lámpara duraría 4 años. Si el resto del sistema (balasto, ignitor, etc.) también tuviera una vida útil de 4 años, el FRC sería 0,315, considerando una tasa de descuento del 10% anual.

En este caso, el CAT de la sustitución es $0,315 * 350 + 211 = \$321$.

Con estas suposiciones, la sustitución no es rentable. El CAT de la opción mercurio es \$211, mientras que el de la opción sodio es \$321.

Por supuesto, en una situación real, la lámpara existente de mercurio no será nueva. Por otro lado, si bien la lámpara de sodio dura 16.000 horas o cuatro años, el resto del sistema debe durar mucho más. Por ello, se debe computar el CAT considerando los CAT de los distintos componentes del sistema con sus respectivos costo inicial y respectivas vida útil.

Por otro lado, no hemos mencionado el costo de mantenimiento del sistema de alumbrado público, que no es despreciable.

Por ello, el análisis económico de la sustitución de lámparas de mercurio por las de sodio es más complejo. Es más rentable cuando el sistema existente está en mal estado, con altos costos de mantenimiento. La situación más favorable se da cuando el equipamiento existente está al final de su vida útil, por lo cual uno debe elegir entre un nuevo sistema basado en lámparas de mercurio o uno basado en lámparas de sodio. Considerando que las lámparas en sí tienen poca diferencia de precio, mientras que el sistema con lámparas de sodio consume 40% menor, la opción sodio es muy rentable.

4. La empresa argentina E ofrece un sistema de ahorrar energía en el alumbrado público. Comprende la reducción del flujo luminoso mediante una reducción en la tensión de las lámparas durante las altas horas de la noche, donde hay menor circulación. En una serie de mediciones, se demostró que la lámpara de sodio de 250 W bajaba de 286 W en plena potencia a 179 W en la potencia reducida. El flujo luminoso bajó en 48%.
- ¿Cuánto es el ahorro anual de energía por lámpara que se opera con potencia reducida desde la media noche hasta las 6 AM?
 - ¿Si el precio de cada equipo E fuera \$ 90 con instalación, es rentable el reemplazo?

El sistema ahorraría potencia durante 6 horas por noche, es decir durante $6 * 365 = 2190$ horas al año. El sistema de A.P. típicamente tiene un encendido anual del 4100 horas al año.

Sin el sistema de ahorro, el consumo energético sería $286 * 4100 / 1000$ kWh al año = 1172,6 kWh/año.

Entonces el sistema de ahorro operaría a plena potencia (286 W) durante 1910 horas y a 179 W durante 2190 horas. El consumo energético anual sería: $286 * 1910 + 179 * 2190 = 938,3$ kWh/año.

Entonces el ahorro sería de 234,3 kWh/año.

Una inversión de \$90 lograría este ahorro.

No sabemos de la vida útil del equipo ahorrador. Se trata de elementos electrónicos que debería durar muchos años. Obsérvese que el equipo duraría más que la lámpara, es decir que el mismo equipo pueda operar una sucesión de lámparas hasta llegar a terminar su propia vida útil. Suponiendo, de forma conservador, una vida útil de 8 años, y una tasa de descuento del 10% anual, el FRC = 0,187.

El costo anualizado del equipo sería $0,187 * \$ 90 = \$ 16,83$.

El ahorro anual es de 234,3 kWh al año cuyo valor depende de la tarifa eléctrica para el alumbrado público. A una tarifa del = \$ 0,11 por kWh, el ahorro anual = \$25,77. El equipo es rentable.

Considerando que hay una gran variación en la tarifa de alumbrado público, se observa que el equipo es más rentable en aquellos lugares donde la tarifa es mayor.