

## **LED vs HPS en la Industria Farmacéutica**

Luis A. Aguirre Enchautegui  
Maestría en Ingeniería en Ingeniería de Manufactura  
Carlos González, Ph.D.  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Universidad Politécnica de Puerto Rico

---

**Resumen** — Actualmente uno de los factores que más afecta la industria farmacéutica en Puerto Rico es el alto costo de la energía eléctrica en el país. Basándonos en este punto obtuvimos la idea central de este artículo. En este artículo evaluaremos los beneficios de cambiar la iluminación exterior de una planta farmacéutica de tecnología de High Pressure Sodium a tecnología Light Emitting Diode. Actualmente la planta farmacéutica que se utilizó para realizar el artículo utiliza luminarias de High Pressure Sodium para iluminar las áreas de estacionamiento, utilidades, calles internas, y áreas adyacentes a los edificios de producción. Estas luminarias están instaladas en postes de 30 pies en los alrededores de toda la planta farmacéutica. Estas luminarias de High Pressure Sodium consumen 200 watts y 250watts mientras que las luminarias Light Emitting Diode propuestas para reemplazarlas consumen 80 watts. Dentro del artículo discutiremos los beneficios que podremos obtener realizando el cambio de luminaria enfatizando en los costos de proyecto, reducción de consumo energético, reducción de materiales peligrosos y la posible reducción de órdenes de trabajos (“work orders”).

**Términos Claves** — Consumo Energético, Luminarias High Pressure Sodium (HPS), Luminarias Light Emitting Diode (LED), Retorno de Inversión.

### **DEFINICIONES**

**LED** — Light Emitting Diode o diodo emisor de luz es un dispositivo fabricado por un semiconductor que emite luz visible cuando tiene una fuente de corriente [1].

**Luminaria LED** — Es el equipo que forma el diodo emisor de luz que produce la luz visible con el sistema de control integrado dentro del dispositivo [2]. Estas luminarias están integradas con un mayor o menor grupo de diodos emisores de luz según la intensidad de la luz que se requiera.

**Luminaria High Pressure Sodium** — Las luminarias HPS o de Vapor de sodio a alta presión utilizan vapor de sodio en su estado más excitado para producir luz.

**Consumo energético** — El consumo energético se puede definir como el gasto total de energía eléctrica para la producción de un producto o en el uso en un equipo determinado.

**Mantenimiento** — Es el área encargada de mantener en buen estado los equipos y las facilidades (Planta física) de una planta farmacéutica.

**Retorno de Inversión** — El retorno de inversión o ROI es la relación que compara el beneficio o la ganancia obtenida en relación con el costo de inversión por la misma [3].

**kW/h** — Es la medida que se utiliza para cuantificar el consumo energético. Mide el consumo de energía en watts o vatios en un periodo determinado de tiempo. Para propósitos de los cálculos de consumo de energía que se realizaron para este artículo se utilizó un costo promedio del kW/h de \$0.26 basado en los últimos 6 meses del 2014.

### **INTRODUCCIÓN**

En nuestro país unos de los más grandes retos con los que tenemos que lidiar todos los días con el costo de la energía eléctrica. La producción y el consumo de energía eléctrica afectan grandemente la economía tanto de las familias como de las

grandes empresas como lo son las plantas farmacéuticas. Por ese motivo cada día debemos buscar como ser más eficientes en el consumo de la energía y debemos buscar tecnologías que puedan obtener ahorros en este campo.

En este artículo se comparan dos tipos de tecnologías (LED vs HPS) que se utilizan para el alumbrado de facilidades, calles y estacionamientos de una planta farmacéutica. Se realiza un análisis donde se comparan las características de estos dos tipos de luminarias y se desatacan los beneficios y las desventajas de cada uno de los dos sistemas.

Se realiza un análisis sobre los costos de energía que se tendrían en la planta en un periodo de un año utilizando los dos tipos de lámparas y los efectos en el consumo energético y los costos que conlleva el uso de las dos luminarias. Por último, realizamos un análisis de otros posible beneficios que no son necesariamente relacionados a los costos energéticos pero que podrían producir una reducción en gastos anuales a la planta.

## OBJETIVOS

Los objetivos de este artículo se centran en:

- Conocer sobre nuevas tecnologías como las luminarias LED.
- Demostrar el ahorro en consumo energético sustituyendo las luminarias existentes de High Pressure Sodium Por luminarias LED.
- Analizar los beneficios indirectos de cambiar de luminarias de High Pressure Sodium a luminarias LED.
- Realizar una comparación cuantitativa y cualitativa sobre las dos tecnologías (LED y HPS) y realizar las recomendaciones necesarias para poder seleccionar el mejor tipo de luminarias para la planta farmacéutica.

## CONTRIBUCIÓN

Este artículo presenta los conceptos a analizar para realizar un análisis para el cambio de luminarias de tecnología HPS a tecnología LED. Sirviendo para presentar las ventajas como la reducción en el consumo energético, reducción en

ordenes de trabajos para cambiar luminarias que tienen un corto periodo de vida. También presenta la reducción de materiales peligroso en la planta como lo es el mercurio que podría llegar a contaminar tanto al personal que dispone incorrectamente del material como a los cuerpos de agua o flora si llegara a ocurrir algún mal manejo de estos.

## REVISIÓN DE LITERATURA

En esta sección se definen brevemente los dos tipos de sistemas de iluminación (HPS vs LED) a ser comparados en este artículo. Se presenta literatura sobre el funcionamiento y operación de los sistemas de iluminación para poder demostrar las características de cada sistema.

Luminarias de High Pressure Sodium — Las lámparas de sodio a alta presión fueron introducidas al mercado en el 1970 y al momento son una de las tecnologías que más se utilizan en el alumbrado exterior [4]. De hecho son las lámparas más utilizadas en todo el mundo para la iluminación de carreteras. Estas lámparas producen luz cuando la corriente pasa a través de una mezcla de diferentes gases (mercurio, sodio, xenón) dentro de un tubo de atmosfera controlada.

Ventajas:

Este tipo de luminaria es más eficientes si las comparamos con tecnologías como lámparas de vapor de mercurio o lámparas de “metal halide” o aditivos metálicos en una escala de lumens producidos por vatios consumidos. Su eficiencia está en promedio entre los 100 hasta los 130 lumens por vatios consumidos.

- Precio (relativamente bajo en comparación con otras tecnologías).
- Vida útil.
- Se pueden construir para una diversidad de usos.

Desventajas:

- Dentro de las desventajas de estas lámparas se encuentran que el espectro de luz que producen es sumamente reducido, normalmente amarillo.

- Este tipo de lámpara también tienen un índice de reproducción cromática muy bajo. Esto no es otra cosa que la capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores de los objetos de una manera fiel en comparación a una fuente natural de luz como por ejemplo el sol.
- El tiempo de encendido de 3 a 5 minutos (menor que el de las lámparas de aditivos metálicos pero mayor que otros tipos de lámparas que son instantáneos).
- Frágiles. Las lámparas HPS son frágiles y deben ser manejadas con cuidado durante su instalación.
- Contienen de 1 a 22 mg de mercurio por cada 100 vatios de energía que producen con un promedio de 16 mg de mercurio por lámparas. También algunas de ellas contienen plomo y xenón. La disposición incorrecta de estas lámparas puede llevar a la persona que las maneja a la exposición de materiales peligrosos como lo son el mercurio, el plomo y el xenón. Su disposición incorrecta también puede llevar a la contaminación de recursos de agua y vida silvestre.

Luminarias de LED — Las lámparas LED (light emitting diodes) o de diodo emisor de luz están compuestas por muchos diodos agrupados en una superficie y la cantidad de estos está definida por la cantidad de lumens que se quieren producir. Un diodo es un componente eléctrico que produce electricidad en una sola dirección. Cuando se conectan los diodos a la corriente eléctrica los electrones que están dentro se excitan haciendo que estos liberen fotones, que es lo que nosotros vemos como luz.

Ventajas:

- Eficiencia energética. Las lámparas LED tiene eficiencia que comienza en los 135 lumens por vatios consumidos.
- Vida Útil. La vida útil de estas lámparas en promedio están en las 50,000 horas de uso.
- Fuerza. Este tipo de lámparas no contiene ni filamentos o tubos que puedan ser quebradizos o débiles como los otros tipos de lámparas.

- Encendido instantáneo. El periodo de encendido de estas lámparas es instantáneo.
- Índice de reproducción cromático alto. Reproduce los colores de los objetos de manera fiel, como las fuentes de luz naturales.
- Amigable al ambiente. No contiene mercurio o algún otro tipo de químicos que pueden contaminar las personas o el ambiente.

Desventajas:

- Solo producen luz direccional, no como los otros tipos de lámparas que producen luz que emana en todas direcciones.
- El costo. Su costo inicial es alto comparado con los otros tipos de lámparas.

## METODOLOGÍA

Para realizar el análisis comparativo de los sistemas de iluminación (LED vs HPS), se seleccionaron todas las áreas donde tenemos iluminación con postes con luminarias HPS (estacionamientos, calles internas de la planta, facilidades y áreas adyacentes a los edificios de producción y edificios de administración). En total se seleccionaron 95 luminarias, 24 luminarias de 250 watts y 71 luminarias de 200 watts, para realizar el estudio comparativo. Estos serán sustituidos por luminarias LED de 80 watts. Luego de esto se comparan los costos de cada uno de los sistemas en un periodo de un año con un valor aproximado del \$0.26 el kW/h, los ahorros en dinero y en energía. También se realizó la comparación del tiempo de vida de las luminarias (HPS y LED). Por último, se realizaron cálculos del costo aproximado de realizar un proyecto para el cambio de luminarias y cuál sería el retorno de inversión de este proyecto.

### Vida Útil de las Luminarias

Para realizar el análisis de la vida útil de cada luminaria primero tenemos que determinar el tiempo de uso diario de cada luminaria. En nuestro caso las luminarias están encendidas un promedio de 12 horas por día. El tiempo de vida útil de una luminaria HPS oscila en un promedio de 8000

horas de uso mientras que el tiempo de vida útil de una luminaria LED es en promedio de 50,000 horas de uso. Para calcular el tiempo de vida útil utilizamos la Ecuación 1:

$$Vida\ Útil = \frac{Tiempo\ aproximado\ de\ vida\ en\ horas}{Horas\ diaria\ de\ uso * 365\ días} \quad (1)$$

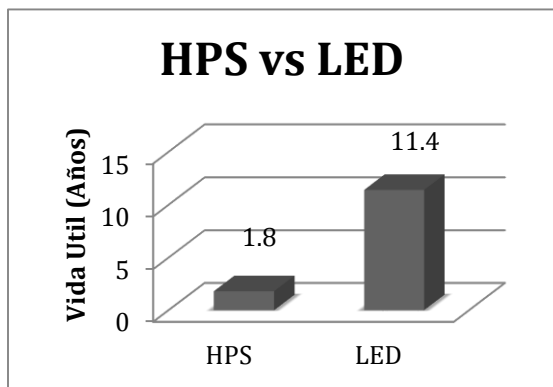
Donde:

- Tiempo aproximado de vida en horas es el tiempo de vida de diseño de la luminaria a utilizarse.
- Horas diarias de uso son las horas que normalmente opera la luminaria en un día promedio.

Utilizando la Ecuación 1 con la data de las luminarias que estamos comparando obtenemos los siguientes resultados en la Tabla 1:

**Tabla 1**  
Vida Útil por Luminarias en Años

VIDA ÚTIL LUMINARIAS		
LUMINARIAS	HORAS DE VIDA (HORAS)	AÑOS DE VIDA (AÑOS)
HPS	8,000	1.83
LED	50,000	11.42



**Figura 1**  
Vida Útil por Luminarias en Años

En la Figura 1 podemos ver claramente que el tiempo de vida útil de una luminaria LED es 6.25 veces más que el tiempo de vida de una luminaria HPS. Podemos ver que el tiempo de vida de una luminaria HPS es en promedio de cerca de 2 años para un uso diario de 12 horas. Mientras que para

una luminaria de tecnología LED el tiempo de vida es de aproximadamente 11.42 años para ese mismo tiempo de uso diario. Esto significa que tendríamos que invertir dinero, recursos y tiempo para cambiar esa luminaria 6 veces más que para una luminaria LED. Este renglón favorece claramente a la tecnología de las luminarias LED.

### Consumo Energético de las Luminarias

Para calcular el consumo energético de las lámparas HPS utilizamos la Ecuación 2:

$$kW/Yr = \frac{(C)*W*12\ horas*365}{1000} \quad (2)$$

Donde:

C = cantidad de luminarias

W = watts que consume las luminarias

12 horas = las horas de uso diario

365 = los días de uso al año

Al utilizar la Ecuación 2 obtuvimos los siguientes datos que se representan en la Tabla 2.

**Tabla 2**  
Consumo Energético por Luminarias HPS en 1 Año (kW/Yr)

Consumo de KW/Yr de Luminarias HPS				
Cantidad de Luminarias	Watts	Horas de uso	Días	Total (kW/Yr)
71	200	12	365	26,280
24	250	12	365	62,196
Total				<b>88,476</b>

Para calcular el consumo energético de las lámparas LED utilizamos la Ecuación 3:

$$kW/Yr = \frac{(C)*W*12\ horas*365}{1000} \quad (3)$$

Donde:

C = cantidad de luminarias

W = watts que consume las luminarias

12 horas = las horas de uso diario

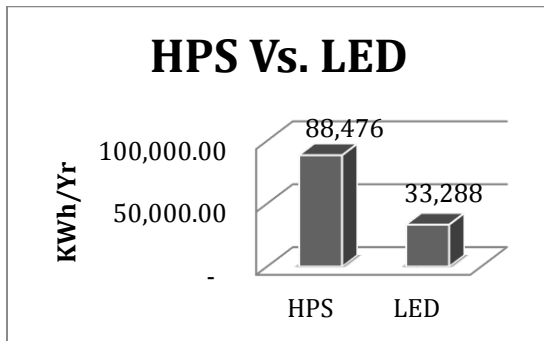
365 = los días de uso al año

Al utilizar la Ecuación 3 obtuvimos los siguientes datos que se representan en la Tabla 3.

**Tabla 3**  
Consumo energético por Luminarias LED en 1 Año  
(kW/Yr)

Consumo de KW/Yr de Luminarias HPS				
Cantidad de Luminarias	Watts	Horas de uso	Días	Total (kW/Yr)
95	80	12	365	33,288

Al analizar los resultados de la Tabla 2 y la Tabla 3 donde se muestran el consumo en de kilovatios en un año podemos ver que el consumo energético de las luminarias LED es 55, 188 kW/Yr al año menos que el consumo de las luminarias HPS. En la Figura 2 se muestra claramente el consumo de energía de las luminarias HPS y las luminarias LED y el ahorro proyectado al cambiar a luminarias LED.



**Figura 2**  
Consumo Energético Luminarias en un Año  
(kWh/Yr)

### Cálculos de Ahorro Monetario

Para realizar los cálculos del costo anual por luminarias utilizamos la Ecuación 4:

$$Costo\ anual = \frac{(C) \cdot W \cdot 12\ horas \cdot 365 \cdot \$0.26}{1000} \quad (4)$$

Donde:

C = al número de luminarias.

W = cantidad de watts que consume cada luminaria.

12 horas = Cantidad de horas de uso por cada día.

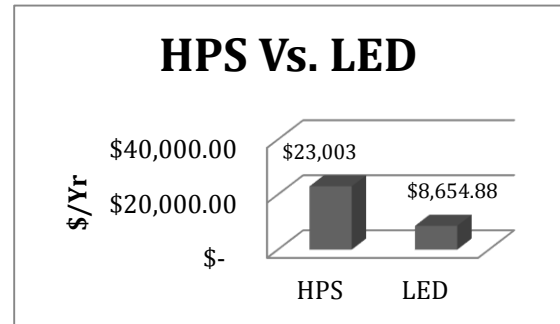
365 = Cantidad de días de operación en un año.

\$0.26 = Promedio del costo del kW/h por los pasados 6 meses.

Al realizar los cálculos por cada luminaria obtenemos la siguiente data que se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4**  
Costo Energético por Luminarias en 1 Año  
(\$/Yr)

Costo Energético por Luminarias en 1 Año (\$/Yr)					
Lum.	C	Hr	Días de Uso	Costo kW/h (\$)	Total (\$)
HPS	95	12	365	0.26	\$23,003.76
LED	95	12	365	0.26	\$8,654.88
<b>Ahorros Anuales</b>					<b>\$14,348.88</b>



**Figura 3**  
Costo Energético por Luminarias en 1 Año  
(\$/Yr)

Al comparar el costo energético por cada luminaria podemos ver que si utilizamos las luminarias HPS estaríamos incurriendo en un gasto de \$23,000 mientras que si utilizamos las luminarias LED solo gastaríamos \$8,654 al año. Al utilizar las luminarias LED tendríamos un ahorro anual de \$14,348 dólares (ver Tabla 4).

### Costo Aproximado de Proyecto

El costo aproximado de un proyecto para cambiar las 95 luminarias de High Pressure Sodium a LED en nuestra planta farmacéutica se demuestra en la Tabla 5. Tomando en consideración que cada luminaria LED de 80 Watts tiene un costo aproximado en el mercado de \$315.00 podemos tener un costo aproximado del proyecto (ver Tabla 5).

**Tabla 5**  
**Costos Proyecto de Cambio de Luminarias de HPS a LED**

Actividad	Costo (\$)
Luminarias	\$29,925.00
Instalación	\$15,000.00
Horas de Ingeniería	\$4,492.50
<b>Total (\$)</b>	<b>\$49,417.00</b>

### **Retorno de Inversión**

El retorno de inversión nos dice cuán rápido obtendremos los beneficios de realizar un cambio en relación al costo de la inversión. En nuestro caso el retorno de inversión lo podemos calcular con la Ecuación 5:

$$ROI = \frac{\text{Costo Total del Proyecto}}{\text{Ahorros que nos brinda}} \quad (5)$$

Al utilizar la Ecuación 5 utilizando el costo total del proyecto igual a \$49,417.00 (ver Tabla 5) y los ahorros que nos brinda el proyecto igual a \$14,348.88 nos ofrece un retorno de inversión de 3.4 años.

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Una vez tenemos todos los datos podemos ver claramente que si realizamos el cambio de luminarias de HPS a LED tendremos un ahorro en consumo de kW/h de aproximadamente de 55, 188 kw/h que equivale a un 62.38% de ahorro energético. Si extrapolamos esto a dólares y centavos tenemos que el gasto actual de las luminarias de HPS al año es alrededor de \$23,003.00 mientras que si realizamos el cambio a LED sería \$8,654.88. Esto nos brinda un ahorro de cerca de \$14,348.12 anuales.

En cuanto al desarrollo del proyecto los costos principales los costos de las luminarias (\$315.00 por luminaria) costos de instalación que rondan los \$15,000 y los costos de horas de ingeniería que rondan los \$4,492.50. Esto nos indica un costo aproximado del proyecto de cerca de \$49,417.00. Si realizamos el cálculo de retorno de inversión

obtenemos que en cerca de 3.4 años habremos pagado el total de la inversión del proyecto y estaremos recibiendo los beneficios del proyecto en su totalidad.

### **CONCLUSIÓN**

Este artículo presentó las dos alternativas para utilizarse en la iluminación de los espacios exteriores de una planta farmacéutica. Se presentaron las ventajas y desventajas que tiene las luminarias LED y HPS. Se realizaron los cálculos de consumo de energía con cada tipo de luminaria y con estos datos pudimos obtener el ahorro anual que tendríamos si realizamos el cambio de luminaria.

Luego planteamos los costos de realizar el proyecto de hacer el cambio de luminarias de los 95 postes que tenemos en la planta y el retorno de inversión esperado para este proyecto. Cabe destacar que no se incluyeron los ahorros que se tendrían y que están asociados al cambio de luminarias HPS. Recordemos que el tiempo de vida de estas lámparas es relativamente corto y que el ejercicio de cambiar una luminaria es un ejercicio costoso ya que se necesita un vehículo (“boom lift” o “scissor lift”) y un grupo de trabajo de cerca de tres personas.

Otro de los beneficios de cambiar a luminarias LED es que eliminamos de la planta el peligro de tener luminarias que contienen mercurio. Recordemos que el mercurio se considera un material peligroso para la salud y que si no se manejan adecuadamente pueden contaminar y ser nocivos para la salud para la persona que lo está manejando. También eliminamos el riesgo de contaminar cuerpos de agua o la flora con este tipo de desperdicio peligroso. Por últimos reducimos los espacios para almacenaje de desperdicios peligrosos en planta.

### **RECOMENDACIÓN**

Recomendamos llevar a cabo el proyecto ya que nos ofrece un ahorro sustancial en el consumo energético. Este es uno de los problemas que más

afecta a la industria farmacéutica hoy en día y debemos auscultar la viabilidad de realizar estudios para ver si es igual de beneficioso cambiar la iluminación interna de los edificios por tecnología LED.

## REFERENCIAS

- [1] Energy Star, "Learn About LEDs", (2 de 1 de 2014). Recuperado el 2 de 10 de 2014 de [www.energystar.gov](http://www.energystar.gov), [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=lighting.pr\\_what\\_are](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=lighting.pr_what_are).
- [2] How LED Streetlights Work, (2 de 10 de 14), Recuperado del Web Site de: <http://science.howstuffworks.com>, <http://science.howstuffworks.com/environmental/green-tech/sustainable/led-streetlight.htm>.
- [3] Pulliam Phillips, P. & Phillips, J. J., "Return on Investment (ROI) Basics", *American Society for Training and Development*, 2006, pp. 187.
- [4] "Sodium Lamp High lumen output at high efficiency", (2 de 10 de 14). Recuperado el 2 de 10 de 14 del Web Site de: <http://www.edisontechcenter.org/>, <http://www.edisontechcenter.org/SodiumLamps.html>.