



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



Mon
621.32
S586
2013

TRABAJO MONOGRAFICO

TITULO

**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGETICA MEDIANTE EL USO E
IMPLEMENTACION DE LAMPARAS LEDs EN EL ALUMBRADO PUBLICO
DE NICARAGUA**

Autor: Br. JAVIER ALEXANDER SILVA TORREZ

Tutor: Ing. Juan González Mena

Managua, Nicaragua, Julio 2013

ÍNDICE

1. IINTRODUCCION.....	4
2. ANTECEDENTES.....	5
3. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
3.1 Principales Parámetros a Medir.....	7
4. OBJETIVOS.....	8
4.1 Objetivos General.....	8
4.2 Objetivo Especifico.....	8
5. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO.....	9
5.1 La Luz.....	9
5.2 MAGNITUDES, UNIDADES Y CONCEPTOS BASICOS.....	13
5.3 El color en las fuentes.....	20
5.4 Gráficos y Diagramas.....	22
5.5 Tipos de Lámparas en Estudio.....	27
6. EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	34
6.1 Concepto.....	34
6.2 Donde está la Eficiencia Energética.....	34
6.3 Eficiencia Energética de una Instalación.....	35
6.4 Etiquetado de Eficiencia Energética.....	38
7. SITUACION DEL ALUMBRADO PUBLICO EN NICARAGUA.....	39
8. ESTUDIO TECNICO DE LAS LAMPARAS LEDS FRENTE A SODIO ALTA PRESION.	40
8.1 Consideraciones Generales.....	40
8.2 Parámetros de Comparación.....	40
8.2.1 Filamento.....	40
8.2.2 Factor de Potencia.....	40
8.2.3 Temperatura de Funcionamiento.....	41
8.2.4 Vida Útil.	41
8.2.5 Tiempo de Encendido y Recuperación.....	41
8.2.6 Temperatura de Color.....	41
8.2.7 Índice de Rendimiento de Color (CRI).....	42
8.2.8 Mantenimiento de la Luminaria.....	42
8.2.9 Funciones de Protección.....	43
8.2.10 Parpadeo.....	43
8.2.11 Contenido de Mercurio.....	43

8.2.12 Tabla comparativa.....	44
9. ESTUDIO ECONOMICO Y AHORRO ENERGETICO DE LAMPARAS	
LEDs.....	45
9.1 Identificación de Beneficios.....	45
9.2 Consumo de Energía.....	46
9.3 Determinación del Costo y consumo actual del alumbrado Público.....	48
10. CONCLUSIONES.....	50
11. RECOMENDACIONES.....	51
12. BIBLIOGRAFIA.....	52
13. ANEXOS.....	53

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación se desarrollará con el objetivo de realizar un estudio energético y económico, mediante la implementación de iluminación tipo LED, en el alumbrado público de Nicaragua para disminuir el consumo de energía eléctrica.

El gobierno de Nicaragua, a través de Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha promovido la eficiencia energética en Nicaragua mediante el uso de lámparas de menor consumo. Bajo esta política del Gobierno de planificación y promoción de la Eficiencia Energética en Nicaragua se presenta el siguiente Documento que contempla El Estudio de costo y el ahorro mediante la implementación de Lámparas basadas en tecnologías LEDs en el Alumbrado Público de Nicaragua.

Se pretende analizar una alternativa tecnológica, que en el transcurso de los años ha sido mejorada hasta el punto de ser presentada alrededor del mundo como una opción de optimización de los sistemas de iluminación, basadas en tecnología de diodos emisores de luz (LEDs) no es nueva, pero sus grandes avances en los últimos años, justifican su uso.

Los diferentes capítulos de este estudio le dan una secuencia al análisis de las lámparas LEDs y lámparas de Sodio de Alta presión actualmente utilizada en el alumbrado público de Nicaragua.

Esta secuencia determina en su inicio, la definición de los conceptos necesarios para el entendimiento de todo este estudio, después se especifican las cualidades necesarias y normas utilizadas para que un alumbrado público cumpla de la mejor manera con sus objetivos, más adelante se realiza el análisis de las lámparas seleccionadas y un capítulo completo dedicado a las lámparas LEDs, para después realizar la comparación entre lámparas LEDs y SAP, parámetro a parámetro. Al final se realiza un análisis financiero que compara una instalación totalmente nueva de lámparas de sodio a alta presión en contra de una instalación de lámparas LEDs. Finalmente las conclusiones y Recomendaciones para la implementación de este tipo de tecnologías.

2. ANTECEDENTES

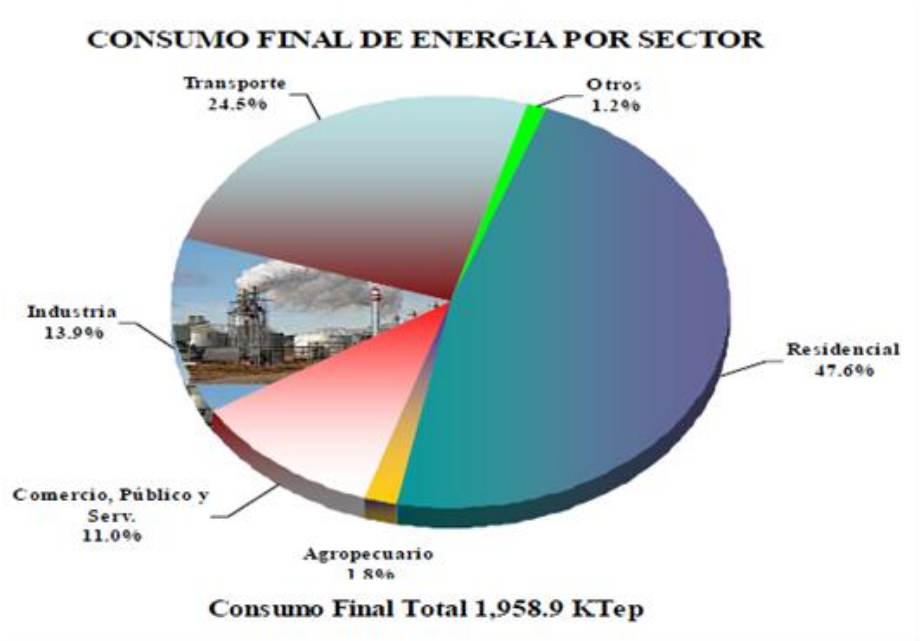
El gobierno de Nicaragua a través del Ministerio de Energía y Minas está promoviendo el uso más eficiente de la Energía eléctrica mediante el cambio de iluminación que abarca el sector residencial, hoteles, entes gubernamentales y el alumbrado público con el fin de ahorrar anualmente hasta 35 megavatios de energía por hora, el Gobierno de Nicaragua tiene previsto empezará a cambiar su sistema de alumbrado, el residencial y el público, a partir de enero del 2013.

Para este proyecto se estarán utilizando dos millones de bujías incandescentes serán sustituidas por lámparas fluorescentes compactas en todo el país, incluidas 36.000 bombillas del alumbrado público, según el



director general de Energías Renovables del Ministerio nicaragüense de Energía y Minas, ingeniero Humberto Reyes. Entre 2008 y 2012 se colocaron 1,2 millones de lámparas fluorescentes en el país, con un ahorro anual estimado de 43.776 mega watts/hora, según el MEM. Además Nicaragua busca cambiar la matriz de generación eléctrica a base de recursos fósiles por renovables como agua, aire, biomasa y geotermia.

A continuación se presenta el consumo de energía eléctrica en Nicaragua:



3. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

En Nicaragua a partir de las nuevas leyes y normas que rigen la iluminación interior, exterior y el alumbrado público emitidas por el Ministerio de Energía y Minas , el Instituto Nicaragüense de Energía y otras dependencias que tienen que ver con normas técnicas y con la energía, se ha venido notando la necesidad de adelantar diferentes estudios que permitan hacer un análisis comparativo entre las lámparas para alumbrado público actualmente en uso en Nicaragua (Vapor de Sodio Alta Presión) y las lámparas tipo LED que han venido incursionando masivamente en los últimos años en el mercado.

El estudio es necesario debido a que principalmente se nota un esfuerzo de parte del estado para hacer un uso eficiente de la energía, disminuir costos de alumbrado público, mejorar niveles de luminosidad, entre otros. De acuerdo con lo que ofrece la nueva tecnología LED sobre el papel en mejoras sobre la tecnología actual de bombillas para alumbrado público (principalmente vapor de sodio de alta presión), esta es más eficiente, económica y limpia en todos los sentidos, pero aún no se ha realizado un estudio paramétrico serio de estas ventajas teóricas.

Por lo anterior, es necesario hacer un estudio de parámetros principales para poder hacer un análisis comparativo entre estas dos tecnologías y de allí poder extraer una conclusión clara acerca de las ventajas y desventajas de cada una de ellas y sobre cuál de las dos podría, en un futuro próximo, constituirse como la mejor opción para la ciudad.

3.1 Principales Parámetros a Medir:

- I. CONSUMO DE ENERGÍA. Es uno de los principales ítems en lo que respecta al uso racional y eficiente de la energía, planteado en los últimos documentos nacionales. Tiene que ver con cuánto consume cada una de las lámparas de las diferentes tecnologías en kilovatios-hora (KWh).
- II. NIVEL DE LUMINOSIDAD. Se da en LÚMEX ó LUXES y es el nivel de LÚMENES en un área determinada, generalmente por metro cuadrado. Este parámetro tiene que ver con la sensación de luz o perfilado de objetos en el área afectada directamente por una luminaria justo debajo de ella y en el cono de luz que afecta de forma radial.
- III. COSTO DE USO. Es el costo de uso sólo por alumbrado y viene ligado con el consumo de energía y se obtiene mediante una ecuación financiera y los datos obtenidos directamente de GAS NATURAL que es la institución que presta el servicio de alumbrado público en Nicaragua.
- IV. CALIDAD DE ILUMINACIÓN. En este ítem también es dado por el fabricante y es la calidad de la luz emitida por cada una de las lámparas y los parámetros a tener en cuenta son: perfilación de objetos, definición de colores y formas, golpe de vista subjetivo (impresión al ojo) y cumplimiento con niveles de GAS NATURAL.
- V. VIDA ÚTIL. Este ítem es uno de los más relativos pues la mayoría de los datos depende de estadísticas previas ofrecidas por los Fabricantes de cada una de las lámparas.
- VI. EFICIENCIA ENERGÉTICA. Es la proporción entre el nivel de lúmenes proporcionado por una lámpara y su consumo en vatios. Este parámetro se obtiene de las mediciones anteriores y se compara con las curvas ISOLUX proporcionadas por el fabricante y luego entre las de cada tecnología para definir cuál es más eficiente.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Realizar el estudio económico, análisis y comparación entre las lámparas de alumbrado público de vapor de sodio y Lámparas de tecnología LED teniendo en cuenta la normatividad vigente en Nicaragua.
- Realizar un Estudio que nos permita comparar los parámetros de las lámparas de Vapor de Sodio Alta Presión vs Lámparas LEDs en el alumbrado público de Nicaragua.

4.2 Objetivo Especifico

- Recolectar y suministrar toda la información pertinente y detallada sobre las lámparas de vapor de sodio y las de tecnología LEDs.
- Medir el consumo de energía eléctrica de cada una de las dos tecnologías y concluir si cumplen con las normas del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía
- Realizar un estudio económico que nos permita ver el ahorro en costos por la Implementación de lámparas LEDs.

5. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO

5.1 La Luz

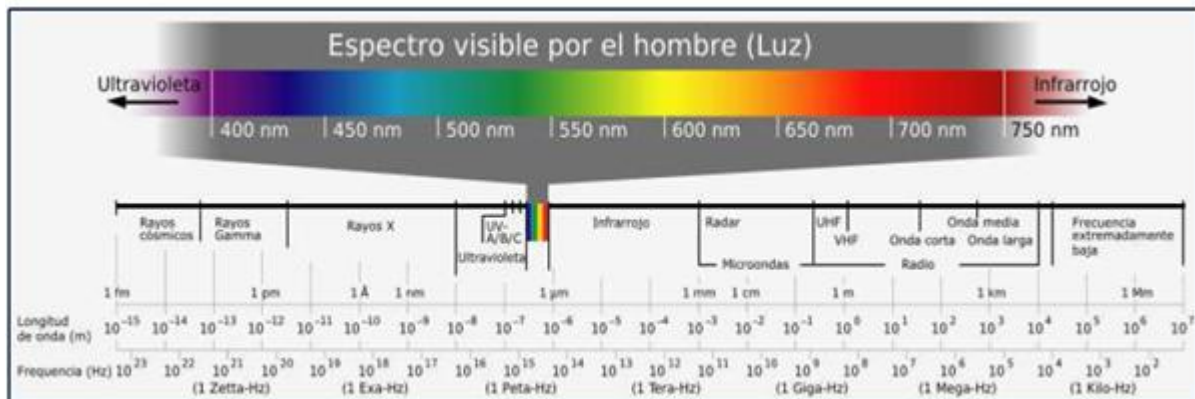
La luz que llega a nuestros ojos y nos permite ver, es un pequeño conjunto de Radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm y los 770 nm.

5.1.1 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

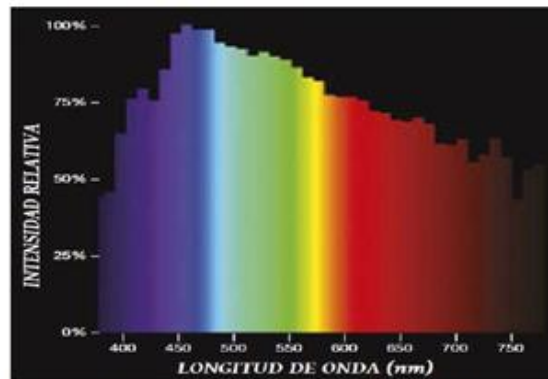
La luz forma parte del espectro electromagnético que comprende diferentes tipos de ondas. Cada uno de estos tipos de onda comprende un intervalo definido por una magnitud característica que puede ser la longitud de onda (λ) o la frecuencia (f). La relación entre ambas es:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde C es la velocidad de la luz en vacío ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)



Espectro electromagnético



Espectro de la luz que irradia el sol a medio día despejado (luz más blanca conocida)

5.1.2 PROPIEDADES DE LA LUZ

Cuando la luz encuentra un obstáculo en su camino choca contra la superficie de este y una parte es reflejada. Si el cuerpo es opaco el resto de la luz será absorbida. Si es transparente una parte será absorbida como en el caso anterior y el resto atravesará el cuerpo transmitiéndose. Así pues, tenemos tres posibilidades.

- Reflexión.
- Transmisión-refracción.
- Absorción.

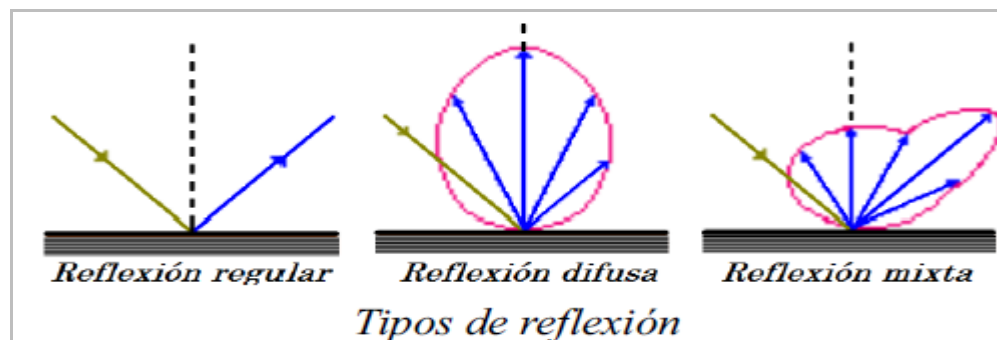
Para cada una se define un coeficiente que nos da el porcentaje correspondiente en tanto por uno. Son el factor de reflexión (ρ), el de transmisión (τ) y el de absorción (α) que cumplen:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \text{ Transparentes}$$

$$\rho + \alpha = 1 \text{ Cuerpos Opacos } (\tau=0)$$

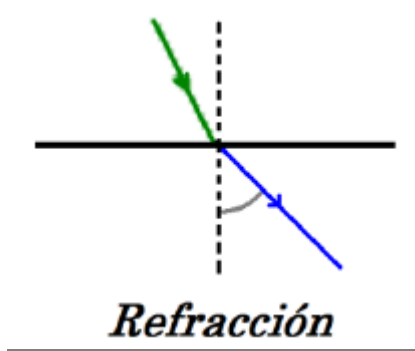
5.1.2.1 LA REFLEXION

La reflexión es un fenómeno que se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes (ya sean gases como la atmósfera, líquidos como el agua o sólidos) y está regida por la ley de la reflexión. La dirección en que sale reflejada la luz viene determinada por el tipo de superficie. Si es una superficie brillante o pulida se produce la reflexión regular en que toda la luz sale en una única dirección. Si la superficie es mate y la luz sale desperdigada en todas direcciones se llama reflexión difusa. Y, por último, está el caso intermedio, reflexión mixta, en que predomina una dirección sobre las demás. Esto se da en superficies metálicas sin pulir, barnices, papel brillante, etc.



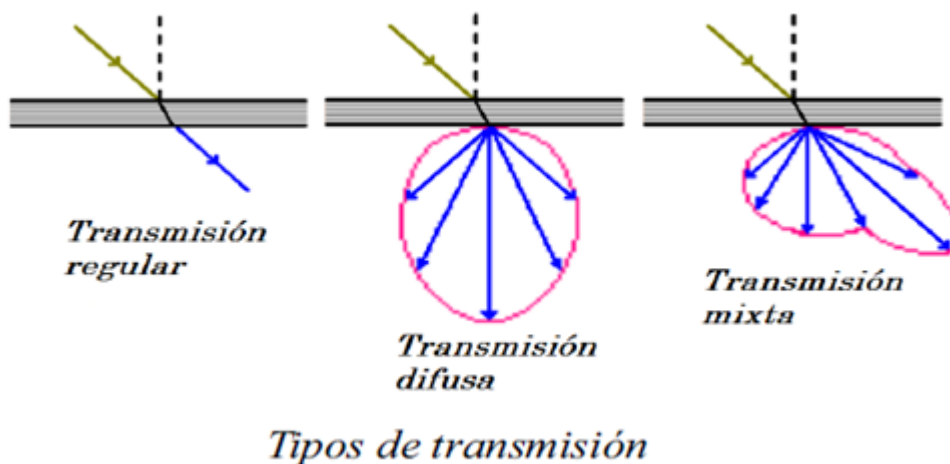
5.1.2.2 LA REFRACCION

La refracción se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios diferentes según la ley de la refracción. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente.



5.1.2.3 LA TRANSMISION

La transmisión se puede considerar una doble refracción. Si pensamos en un cristal; la luz sufre una primera refracción al pasar del aire al vidrio, sigue su camino y vuelve a refractarse al pasar de nuevo al aire. Si después de este proceso el rayo de luz no es desviado de su trayectoria se dice que la transmisión es regular como pasa en los vidrios transparentes. Si se difunde en todas direcciones tenemos la transmisión difusa que es lo que pasa en los vidrios translúcidos. Y si predomina una dirección sobre las demás tenemos la mixta como ocurre en los vidrios orgánicos o en los cristales de superficie labrada.



5.1.2.4 LA ABSORCION

La absorción es un proceso muy ligado al color. El ojo humano sólo es sensible a las radiaciones pertenecientes a un pequeño intervalo del espectro electromagnético. Son los colores que mezclados forman la luz blanca. Su distribución espectral aproximada es:

Tipo de radiación	Longitudes de onda (nm)
Violeta	380-436
Azul	436-495
Verde	495-566
Amarillo	566-589
Naranja	589-627
Rojo	627-770

Longitudes de onda de diferentes tipos de radiación

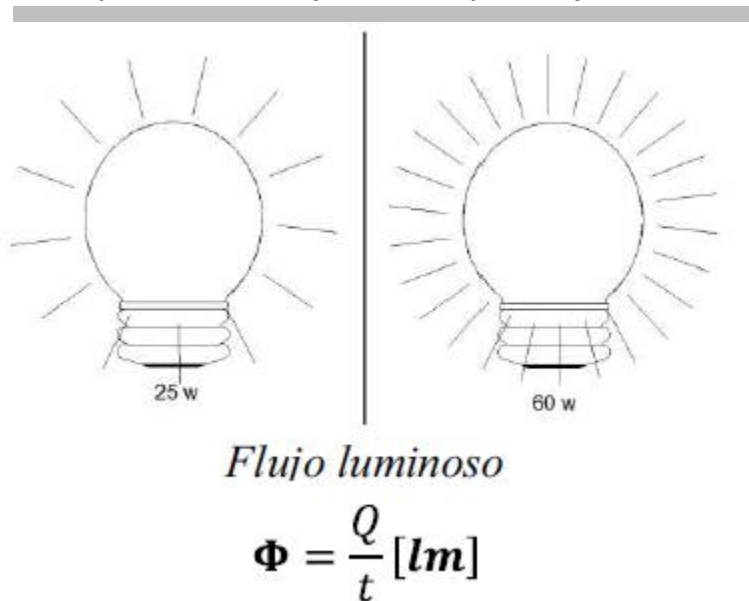
Cuando la luz blanca choca con un objeto una parte de los colores que la componen son absorbidos por la superficie y el resto son reflejados. Las componentes reflejadas son las que determinan el color que percibimos. Si las refleja a todas es blanco y si las absorbe a todas es negro. Un objeto es rojo porque refleja la luz roja y absorbe las demás componentes de la luz blanca. Si iluminamos el mismo objeto con luz azul lo veremos negro porque el cuerpo absorbe esta componente y no refleja ninguna. Queda claro, entonces, que: El color con que percibimos un objeto depende del tipo de luz que le enviamos y de los colores que este sea capaz de reflejar.

5.2 MAGNITUDES, UNIDADES Y CONCEPTOS BASICOS

Contrariamente a lo que se pueda pensar, detrás de los cálculos y recomendaciones sobre alumbrado de vías públicas existe un importante desarrollo teórico sobre diferentes temas (pavimentos, deslumbramiento, confort visual, etc.). Afortunadamente, hoy en día estos cálculos están muy mecanizados. No obstante, es recomendable tener nociones de algunos de ellos para comprender mejor la mecánica de cálculo. Así tras estudiar algunos conceptos previos de iluminación, veremos soluciones prácticas de alumbrado viario y los niveles de iluminación recomendados.

5.2.1 FLUJO LUMINOSO

Para hacernos una idea consideraremos dos bombillas, una de 25 w y otra de 60 w, está claro que la de 60 w dará una luz más intensa, pues bien, 25 w y 60 w es la potencia que consumen las bombillas pero solo a la parte que se convierte en luz visible se le llama flujo luminoso al cual definiríamos como: la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente y valorada por el ojo humano. Su unidad es el lumen (lm).

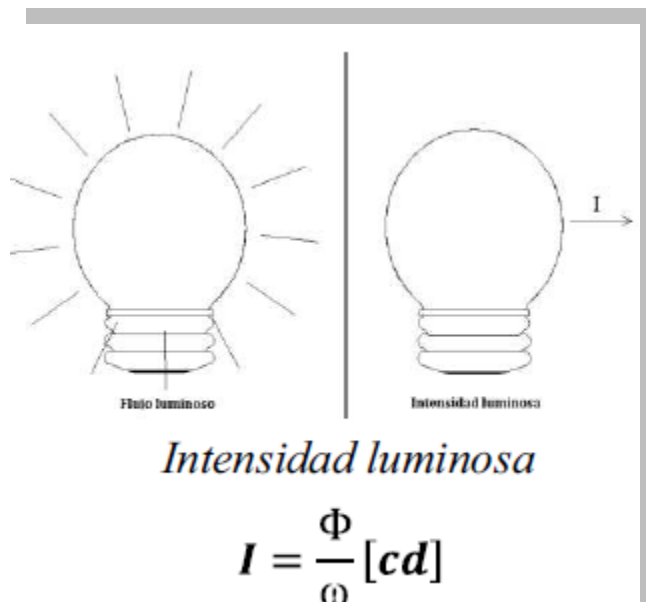


Q= Cantidad de luz emitida en lúmenes por segundo.

T= Tiempo en segundos.

5.2.2 LA INTENSIDAD LUMINOSA (I)

Una vez clara la idea del flujo luminoso, está claro que éste se presenta en todas direcciones del espacio, pero por la necesidad de conocer cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio definimos la intensidad luminosa: la intensidad luminosa representa la intensidad con que se proyecta la luz en una dirección determinada. Su unidad es la candela (cd).



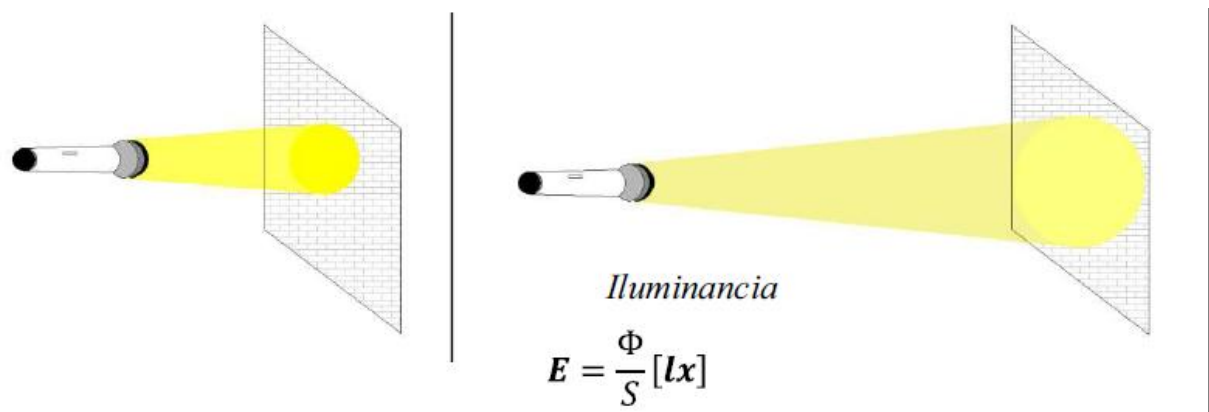
Φ = Flujos Luminosos

ω = Unidades de Angulo Solido

Nota: El flujo luminoso y la intensidad luminosa son magnitudes características de las fuentes de luz, indicando la primera la cantidad de luz emitida por dicha fuente en 1 segundo en todas direcciones, mientras que la segunda indica la cantidad de luz emitida en 1 segundo en una determinada dirección.

5.2.3 LA ILUMINANCIA (E)

Cuando se iluminan objetos situados a diferentes distancias, se puede apreciar que los cercanos están fuertemente iluminados en comparación a los lejanos donde la iluminación es débil. Esta sencilla experiencia recoge muy bien el siguiente concepto de iluminancia: luminancia o nivel de iluminación es la cantidad de luz que recibe una superficie independientemente de la dirección de la cual llega el flujo luminoso a esta superficie, su unidad es el lux (lx).



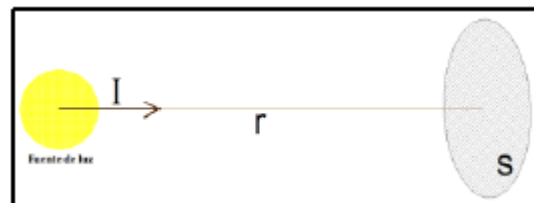
Φ = Flujos Luminosos

S = Superficie en m^2

A lo que ocurre con el ejemplo de la linterna se le conoce como ley inversa de los cuadrados, que relaciona la intensidad luminosa I y la distancia de la fuente, esta ley es válida solo si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular a la superficie.

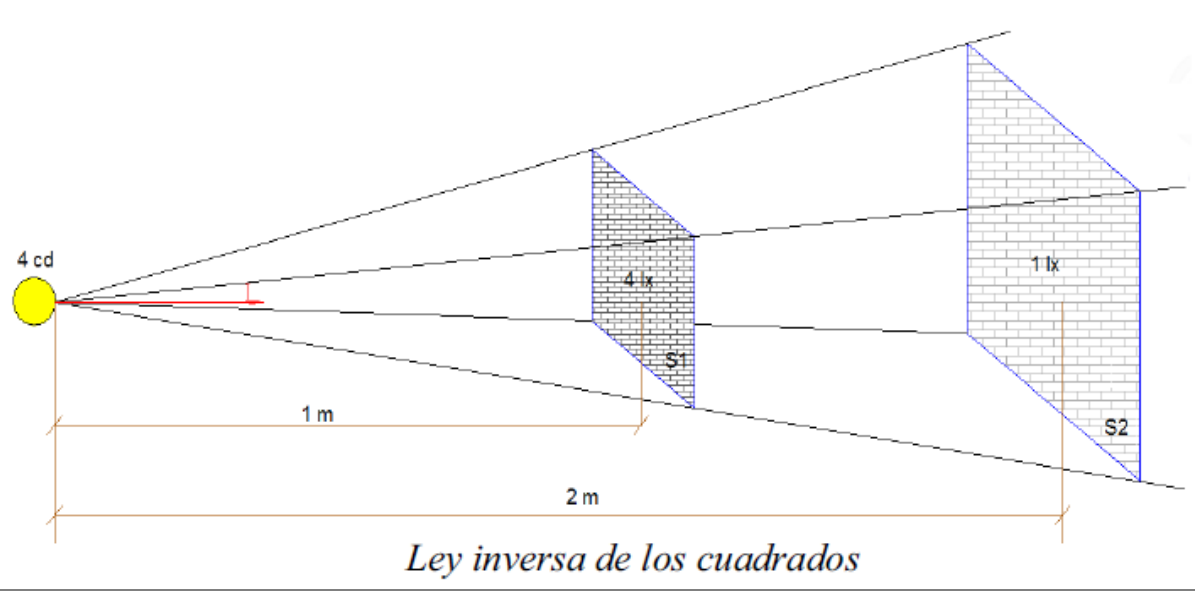
Ley inversa de los cuadrados:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

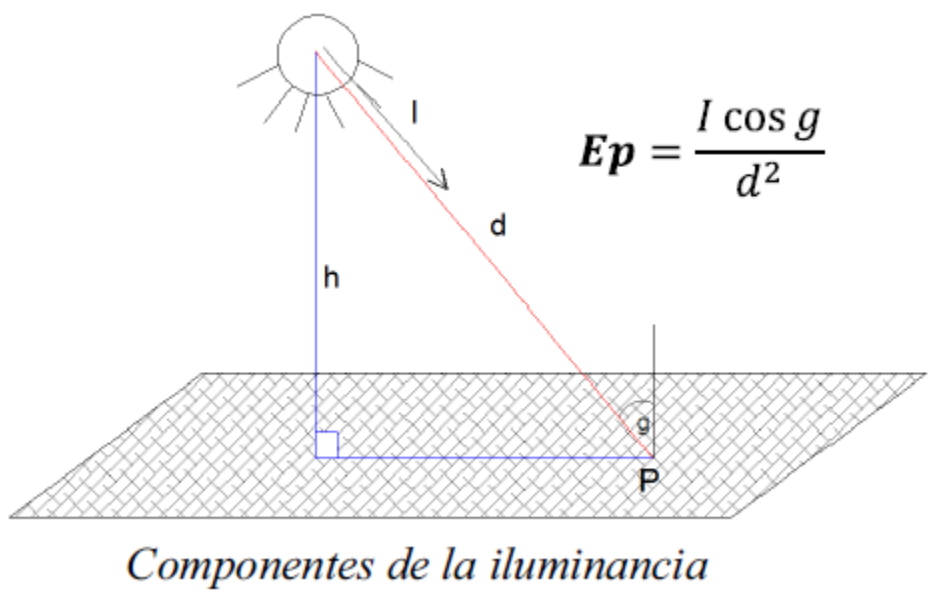


I = Intensidad Luminosa

r = Distancia de la fuente de luz a la superficie a iluminar



Si la luz incidente no es perpendicular, hay que descomponer la iluminancia recibida en una componente vertical y otra vertical a la superficie



E_p = Iluminancia en el punto p

g = Ángulo formado entre la vertical y la línea de luz incidente

d = Distancia entre la fuente de luz y el punto P

5.2.4 LA LUMINANCIA (L)

Hasta ahora se ha hablado de magnitudes que informan sobre las propiedades de las fuentes de luz (flujo luminoso e intensidad luminosa) o sobre la luz que llega a la superficie (iluminancia). Pero no se ha dicho nada de la luz que llega al ojo, que a fin de cuentas es la que vemos, de esto trata la luminancia, ya sea el caso que se vea una fuente de luz o el reflejo procedente de un cuerpo. Con todo esto claro definimos luminancia como: la intensidad luminosa que emite una superficie reflectora ajena a la fuente luminosa por unidad de superficie perpendicular a la dirección de la luz, su unidad es el Lambert.

$$L = \frac{I}{S} [cd/cm^2]$$

I = Intensidad luminosa

S = Superficie en cm^2

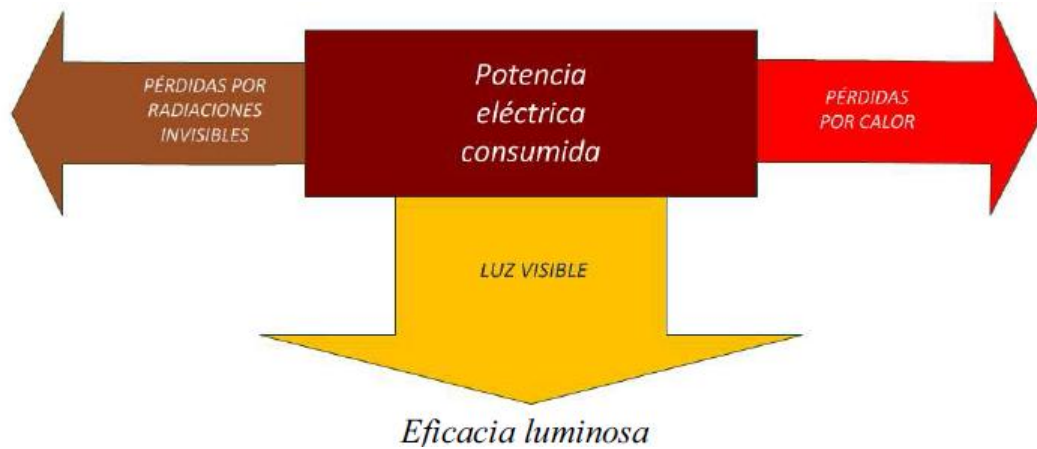
5.2.5 EFICACIA LUMINOSA (η)

Ya se mencionó al hablar del flujo luminoso que no toda la energía eléctrica consumida por la lámpara se transforma en luz visible. Parte se pierde por calor, parte en forma de radiación no visible (infrarrojo, ultravioleta, etc.) Eficacia luminosa es la relación entre el flujo luminoso de una fuente de luz y la potencia suministrada a ella, expresada en lm/W , esta depende de dos factores: el porcentaje de la potencia eléctrica que se transforma en radiación visible y la distribución espectral de la radiación emitida por la fuente en relación con la curva de sensibilidad espectral del sistema visual humano, donde surge que 1 watt de potencia radiante de 555 nm equivale a 683 lm/W , valor que correspondería a la máxima eficacia luminosa posible, sin embargo, las fuentes luminosas no tienen valores tan altos de eficacia luminosa.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} [lm/w]$$

Φ = Flujo luminoso.

P = Potencia en vatios.



5.2.6 RENDIMIENTO ENERGÉTICO

El rendimiento energético global de una instalación de alumbrado puede definirse como el cociente entre la energía luminosa necesaria para la realización de una actividad determinada y el consumo de energía eléctrica correspondiente.

$$R = \frac{S * N_i}{P} [lm/w]$$

R = Rendimiento energético global de la instalación, lumen/W.

N_i = Nivel de iluminación requerido en el plano de trabajo, lux (lumen/m²).

S = Superficie a alumbrar, m².

P = Potencia total de la lámparas instaladas, W.

5.2.7 COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN(η_u)

Se refiere a la relación entre el flujo luminoso que alcanza la calzada y el flujo emitido por la lámpara.

$$\eta_u = \frac{\Phi_u}{\Phi_L}$$

η_u = Coeficiente de utilización

Φ_u = Flujo luminoso que alcanza la calzada

Φ_L = Flujo luminoso emitido por la lámpara

Varía según el tipo de luminaria (rendimiento y distribución fotométrica), la disposición de los puntos de luz (altura y saliente sobre el bordillo), la anchura L de la calzada, el factor de reflexión de las fachadas de los edificios circundantes, en el caso de que los haya. En la práctica, el orden de magnitud del coeficiente de utilización se sitúa entre 0.2 y 0.5 para una vía de anchura similar a la altura de la instalación.

El valor del coeficiente de utilización lo suministra el constructor de las luminarias o por pruebas desarrolladas en un laboratorio. Habitualmente se proporcionan dos curvas, una correspondiente a la emisión anterior a la luminaria (lado de la calzada) y la otra relativa a la parte posterior (lado casas).

5.2.8 CONTRASTE UMBRAL DE LUMINANCIA

Es una medida de su luminancia relativa al fondo sobre el cual es visto. Cuánto más grande es el contraste de luminancia, más fácil es detectar el estímulo.

Hay, en términos generales, dos formas diferentes de definir el contraste de luminancia. Para estímulos que son vistos sobre un fondo uniforme, el contraste de luminancia se define por convención como es la diferencia de la luminancia del objeto y la luminancia del entorno, está dado por:

$$C = \frac{L_o - L_f}{L_f}$$

L_f : Luminancia del fondo

L_o : Luminancia del detalle

Un estímulo con contraste de luminancia cero o muy bajo, puede ser detectado si difiere en color del fondo, es decir, si tiene contraste cromático. La iluminación puede acentuar, o disminuir, el contraste cromático de un estímulo, según la composición espectral de la emisión de la fuente de luz utilizada.

5.3 EL COLOR EN LAS FUENTES DE LUZ

Las cantidades fotométricas descritas hasta aquí no toman en cuenta la composición espectral de la luz recibida por el ojo. Dos campos con igual luminancia pero con diferentes combinaciones de longitudes de onda se diferenciarán por su color. El color depende de la distribución espectral de la luz. Si prevalecen longitudes de onda largas del espectro visible, la luz se percibirá roja, si prevalecen las del medio el espectro la luz se percibirá amarilla/verde o si está concentrado en las bajas longitudes de onda se percibirá un azul. Como ya se mencionó anteriormente, si se combinan todas las longitudes de onda del espectro visible, en aproximadamente cantidades iguales, el ojo percibe una luz color blanca, como la del sol

5.3.1 ATRIBUTOS DE COLOR EN UNA FUENTE DE LUZ

5.3.1.1 El tono

El tono está asociado al color predominante, sea este espectral o no, es decir es el atributo asociado con el nombre de los colores básicos: rojo, amarillo, naranja, verde, azul o púrpura.

En general, se describe el tono por la longitud de onda del color dominante. En el caso de un color no espectral como el púrpura, que resulta de una suma de luces rojas y azules, que no se corresponde con una longitud de onda, el tono se describe como la longitud de onda de su color complementario.

5.3.1.2 La saturación

La saturación corresponde a la pureza del color que determina el tono. Un color monocromático espectral tiene la mayor saturación, mientras la luz blanca, es una luz completamente no saturada.

5.3.1.3 La claridad

La claridad se refiere a la cantidad de luz. Un mismo objeto puesto al sol o a la sombra solamente se diferencia por su claridad. Es una magnitud perceptual asociada al nivel de la intensidad que emite una fuente de luz, o a la proporción de la luz incidente que es reflejada en el caso de objetos. La claridad está asociada con la luminancia.

5.3.1.4 Rendimiento de color (Índice de reproducción cromática CRI)

El rendimiento de color en una instalación de alumbrado es la capacidad que tienen las lámparas de reproducir los colores de los objetos que iluminan. Las exigencias en este aspecto varían enormemente, desde aplicaciones como el alumbrado vial, donde la identificación exacta del color no es precisamente necesaria, hasta casos especiales, como sucede en comercios, galerías de arte, etcétera, donde la reproducción de colores es imprescindible. El rendimiento de color que presenta una lámpara se consigue en comparación con la obtenida mediante una luz de referencia. Convencionalmente, el CRI varía entre 0 y 100, pero no debe entenderse como un porcentaje de fiabilidad de reproducción de cada uno de los colores, ya que se obtiene como promedio de las reproducciones efectuadas en los colores de una muestra. Dos lámparas pueden tener un mismo CRI y sin embargo reproducir de modo distinto un determinado color.

En la tabla siguiente se especifican los índices de rendimiento de color mínimos de las fuentes de luz, expresados en grupos de calidad según CIE:

Grupo de rendimiento de color	Temperatura de color
1 (BUENO)	> 85
2 (NORMAL)	70 A 85
3 (MALO)	>70

Rendimiento de color

5.3.1.5 La apariencia del color

Es el color que presenta la propia fuente de luz.

5.3.1.6 Temperatura de color correlacionada (TCC)

Es el color emitido por una fuente de luz, en comparación al color de un cuerpo negro. La temperatura de color se mide en grados kelvin ($^{\circ}\text{K}$), calentando progresivamente un cuerpo negro (hierro o carbón), partiendo del cero absoluto (-273°C) hasta una cierta temperatura, e ir observando la variación cromática de luz que va emitiendo, que empieza por el rojo y termina por el color blanco al llegar al punto de fusión.

Apariencia del color	Temperatura de color
CALIDA	$< 3300^{\circ}\text{K}$
INTERMEDIA	3300 a 5000°K
FRIA (LUZ DE DÍA)	$> 5000^{\circ}\text{K}$

Temperatura de color correlacionada

5.4 GRAFICOS Y DIAGRAMAS

Cuando se habla en fotometría de magnitudes y unidades de medida se definen una serie de términos y leyes que describen el comportamiento de la luz y sirven como herramientas de cálculo. Pero no hemos de olvidar que las hipótesis utilizadas para definirlos son muy restrictivas (fuente puntual, distribución del flujo esférica y homogénea, etc.).

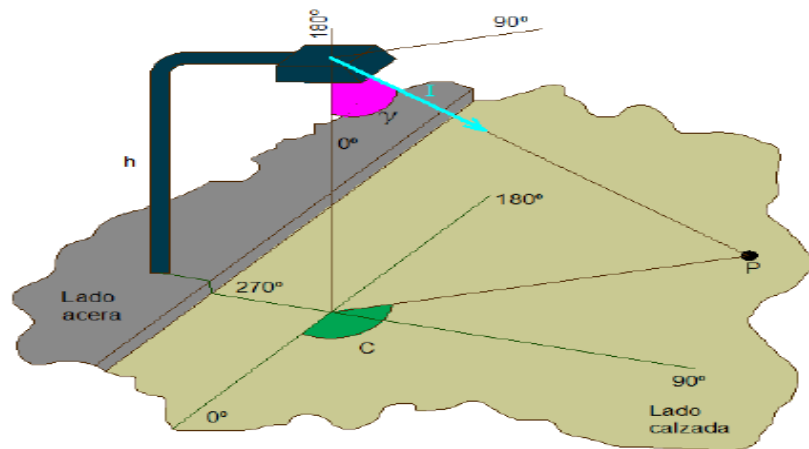
Aunque esto no invalida los resultados y conclusiones obtenidas, nos obliga a buscar nuevas herramientas de trabajo, que describan mejor la realidad, como son las tablas, gráficos o programas informáticos. De todos los inconvenientes planteados, el más grave se encuentra en la forma de la distribución del flujo luminoso que depende de las características físicas muy particulares de las lámparas y luminarias empleadas.

Los gráficos más habituales en luminotecnia, todos ellos enfocados a alumbrado Público son:

- Diagrama polar o curva de distribución luminosa.
- Diagramas isocandela de alumbrado público. Proyección azimutal de Lambert.
- Curvas isolux.

5.4.1 Diagrama Polar o Curvas de Distribución Luminosa

En estos gráficos la intensidad luminosa se representa mediante un sistema de tres coordenadas (I , C , γ). La primera de ellas representa el valor numérico de la intensidad luminosa en candelas e indica la longitud del vector mientras las otras señalan la dirección. El ángulo C nos dice en qué plano vertical estamos y mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. En este último, 0° señala la vertical hacia abajo, 90° la horizontal y 180° la vertical hacia arriba. Los valores de C utilizados en las gráficas no se suelen indicar salvo para el alumbrado público. En este caso, los ángulos entre 0° y 180° quedan en el lado de la calzada y los comprendidos entre 180° y 360° en la acera; 90° y 270° grados son perpendiculares al bordillo y caen respectivamente en la calzada y la acera.

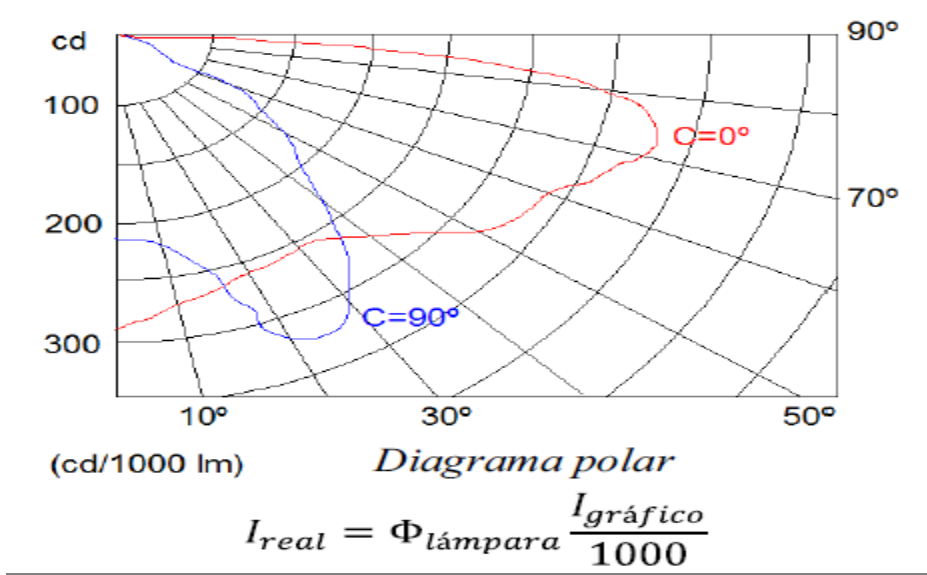


Representación diagrama polar o curvas de distribución luminosa

Con un sistema de tres coordenadas es fácil pensar que más que una representación plana tendríamos una tridimensional. De hecho, esto es así y si representamos en el espacio todos los vectores de la intensidad luminosa en sus respectivas direcciones y uniéramos después sus extremos, obtendríamos un cuerpo llamado sólido fotométrico. Pero como trabajar en tres dimensiones es muy incómodo, se corta el sólido con planos verticales para diferentes valores de C (suelen ser uno, dos, tres o más dependiendo de las simetrías de la figura) y se reduce a la representación plana de las curvas más características.

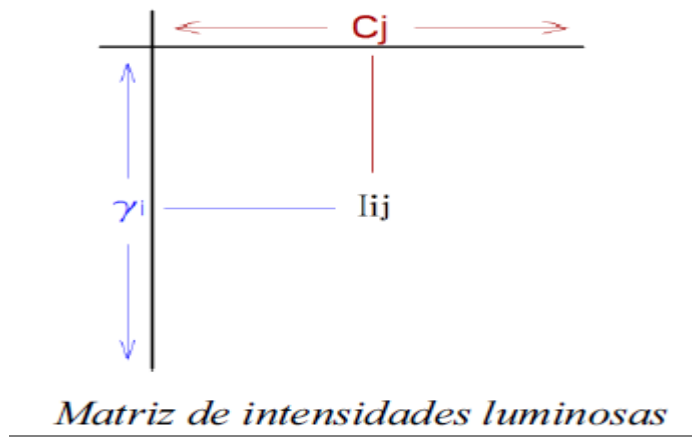
En la curva de distribución luminosa, los radios representan el ángulo y las circunferencias concéntricas el valor de la intensidad en candelas. De todos los planos verticales posibles identificados por el ángulo C, solo se suelen representar los planos verticales correspondientes a los planos de simetría y los transversales a estos (C = 0° y C = 90°) y aquel en que la lámpara tiene su máximo de intensidad. Para evitar tener que hacer un gráfico para cada lámpara cuando solo varía la potencia de esta, los gráficos se normalizan para una lámpara de referencia de 1000 lm.

Para conocer los valores reales de las intensidades bastará con multiplicar el flujo luminoso real de la lámpara por la lectura en el gráfico y dividirlo por 1000 lm.



5.4.1.2 Matriz de Intensidades Luminosas

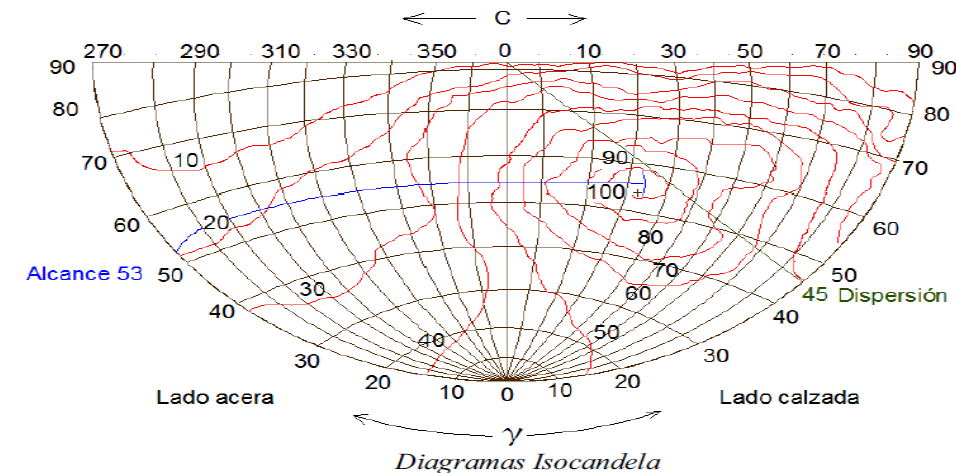
También es posible encontrar estos datos en unas tablas llamadas matriz de intensidades luminosas donde para cada pareja de valores de C y obtenemos un valor de I normalizado para una lámpara de flujo de 1000 lm.



5.4.2.1 Diagramas Isocandela

A pesar de que las curvas de distribución luminosa son herramientas muy útiles y prácticas, presentan el gran inconveniente de que sólo nos dan información de lo que ocurre en unos pocos planos meridionales (para algunos valores de C) y no sabemos a ciencia cierta qué pasa en el resto. Para evitar estos inconvenientes y conjugar una representación plana con información sobre la intensidad en cualquier dirección se definen las curvas isocandela.

En las luminarias para alumbrado público, para definir una dirección, se utilizan los ángulos C y usados en los diagramas polares. Se supone la luminaria situada dentro de una esfera y sobre ella se dibujan las líneas isocandelas. Los puntos de las curvas se obtienen por intersección de los vectores de intensidad luminosa con la superficie de esta. Para la representación plana de la superficie se recurre a la proyección azimutal de Lambert.



En estos gráficos, los meridianos representan el ángulo C, los paralelos y las intensidades, líneas rojas, se reflejan en tanto por ciento de la intensidad máxima. Como en este tipo de proyecciones las superficies son proporcionales a las originales, el flujo luminoso se calcula como el producto del área en el diagrama (en estereorradianes) por la intensidad luminosa en esta área. Además de intensidades y flujos, este diagrama informa sobre el alcance y la dispersión de la luminaria. El alcance da una idea de la distancia longitudinal máxima que alcanza el haz de luz en la calzada mientras que la dispersión se refiere a la distancia transversal.

5.4.3.1 Curvas Isolux

Las curvas vistas en los apartados anteriores (diagramas polares e isocandelas) se obtienen a partir de características de la fuente luminosa, flujo o intensidad luminosa, y dan información sobre la forma y magnitud de la emisión luminosa de esta. Por contra, las curvas isolux hacen referencia a las iluminancias, flujo luminoso recibido por una superficie, datos que se obtienen experimentalmente o por cálculo a partir de la matriz de intensidades usando la fórmula:

$$E_H = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} \cos^3 \gamma \quad E_V = \frac{I(C, \gamma) * \cos^2 \gamma}{H^2} \sin \gamma$$

E_H = Componente horizontal de la iluminancia en el punto de cálculo.

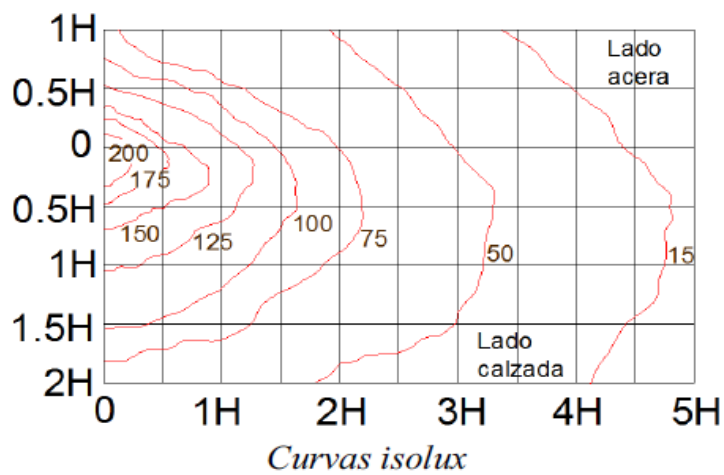
E_V = Componente vertical de la iluminancia en el punto de cálculo.

I = Intensidad luminosa de la luminaria para la curva y el ángulo.

H = Altura o diferencia de cotas entre la fuente luminosa y el punto de cálculo.

γ = Ángulo que forman la dirección vertical desde la luminaria hasta el plano de Trabajo y el rayo que une la fuente luminosa con el punto de cálculo.

Estos gráficos son muy útiles porque dan información sobre la cantidad de luz recibida en cada punto de la superficie de trabajo y son utilizadas especialmente en el alumbrado público donde de un vistazo nos podemos hacer una idea de cómo iluminan las farolas la calle. Lo más habitual es expresar las curvas isolux en valores absolutos, definidas para una lámpara de 1000 lm y una altura de montaje de 1 m.



Los valores reales se obtienen a partir de las curvas usando la expresión:

$$E_{H_{real}} = E_{curva} * \frac{\Phi_{L_{real}}}{1000} * \frac{1^2}{H^2}$$

E_{real} = Iluminancia real.

E_{curva} = Iluminancia proporcionada por la curva.

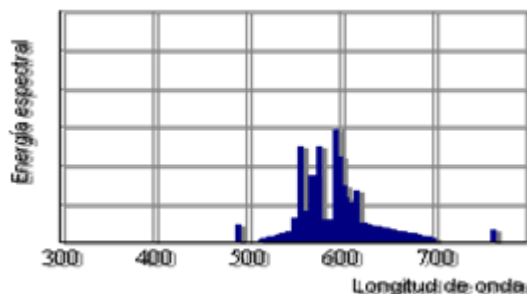
$\Phi_{L_{real}}$ = Flujo luminoso real.

H = Altura o diferencia de cotas entre la fuente luminosa y el punto de cálculo.

5.5 Tipos de Lámparas en Estudio

5.5.1 Lámparas de Vapor de Sodio

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión. La figura muestra los componentes espectrales de una lámpara de sodio de alta presión.



Espectro de una lámpara de vapor de sodio a alta presión.

Las consecuencias de esto es que tienen un rendimiento en color ($T_{\text{color}} = 2100 \text{ K}$) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión ($\text{IRC} = 25$, aunque hay modelos de 65 y 80). En la siguiente figura se puede observar el rendimiento energético de este tipo de lámparas.

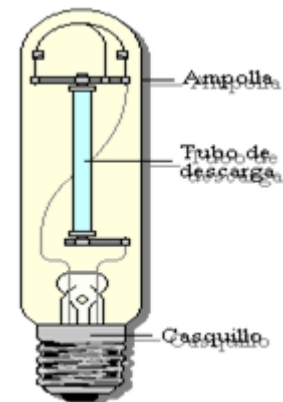


Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión

No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas. La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20000 horas y su vida útil entre 8000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo tenemos que hablar del fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas ($1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve. La figura muestra una lámpara de vapor de sodio de alta presión típica.

Lámpara de vapor de sodio a alta presión.



Este tipo de lámparas tienen muchos usos posibles tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos son en iluminación de naves industriales, alumbrado público o iluminación decorativa.

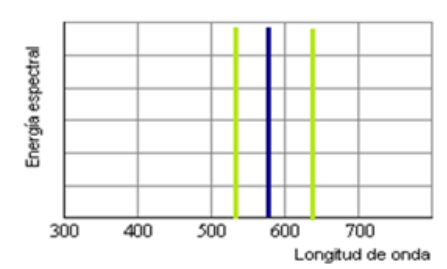
5.5.2 Lámparas de arreglo de LED.

Los LED son básicamente pequeñas ampollitas que se ajustan en un circuito electrónico, y que desprenden luz debido al movimiento de electrones en un material semiconductor. Un diodo es el dispositivo semiconductor más simple que existe. Se construye uniendo una sección de un material cargado positivamente, con otra de material cargado en forma negativa, y con electrodos en cada extremo, para que de esta forma conduzcan electricidad (en la forma de electrones moviéndose libremente) en una dirección cuando se aplique voltaje al diodo.

Los electrones se mueven en una serie de órbitas fijas alrededor del núcleo de los átomos. Cuando un electrón absorbe energía extra del voltaje introducido, salta a una órbita superior, y cuando regresa a la órbita inferior, emite la energía extra en forma de fotón.

A diferencia de los diodos comunes, en los que el material semiconductor absorbe la mayor parte de la energía lumínica antes de que ésta sea liberada, los LED están hechos para emitir una gran cantidad de fotones.

El color de la luz de un LED obedece a la cantidad de energía en ese fotón. A su vez, la cantidad de energía dependerá del material utilizado para las capas. En la figura se pueden observar los espectros de diferentes lámparas de LED dependiendo del material de su construcción.

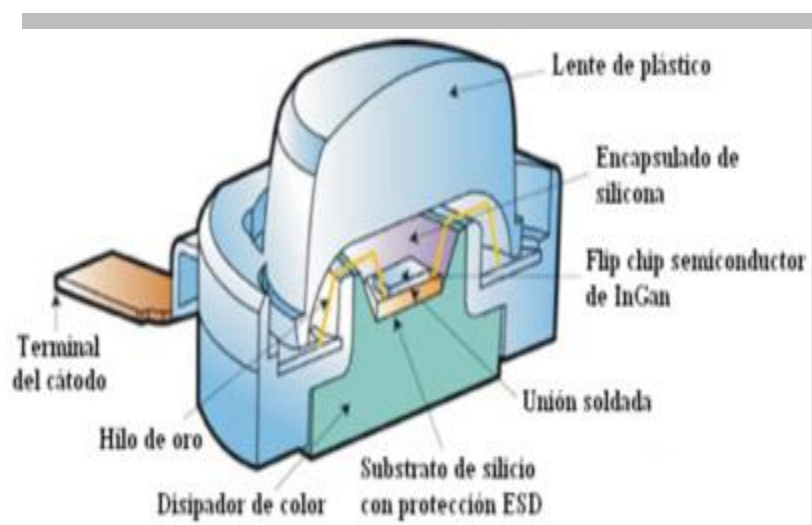


Espectros posibles de lámparas LED dependiendo del material utilizado

La luz de un LED es direccional, por lo que se puede ajustar en la dirección que se requiera. No contienen ningún material peligroso, como mercurio, al contrario de las ampollitas eficientes. Gracias a la alta calidad de los materiales que lo componen y a su larga vida útil requieren ser reciclados menos a menudo.

Los LED de color cubren todo el espectro de colores de luz visible, lo que ofrece al mercado innumerables posibilidades como se ve en la figura anterior. Además, poseen un alto índice cromático, gracias a lo cual los colores se ven más naturales. En la figura se puede observar la construcción de un LED usado para lámparas de alumbrado público.

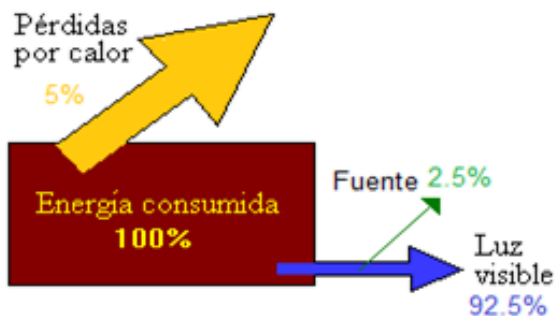
El tiempo medio de vida de una lámpara de LED para alumbrado público oscila entre 80.000 y 100.000 horas. La última tecnología de LED de montaje superficial y gran flujo luminoso está por encima de 100.000 horas.



Construcción interna de un LED común usado en alumbrado público.

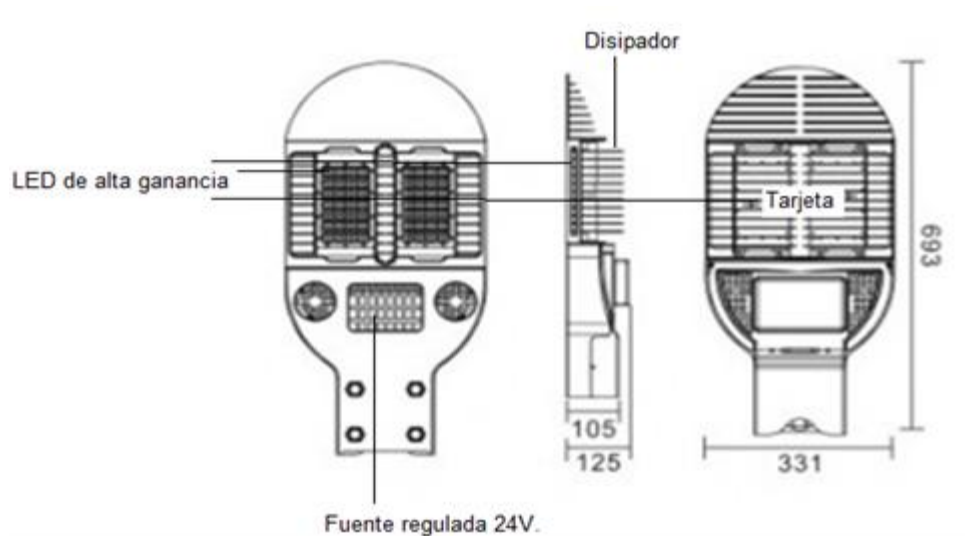
Una lámpara de LED está compuesta de varias hileras de LED dependiendo del nivel de iluminación que se requiera. Las variaciones que se deben hacer son: número de LED y potencia de la fuente regulada de voltaje, de resto el esquema funcional es idéntico para reemplazar cualquier lámpara de otra tecnología de la potencia requerida.

En la figura se puede ver un diagrama de la eficiencia energética de una lámpara de LED.



Balance energético de una lámpara de LED.

Dentro de las ventajas conocidas de la tecnología LED están el ahorro de entre un 75% y un 90% en consumo energético, sin sacrificar intensidad lumínica, no generan rayos UV ni IR, libres de mantenimiento y menor costo a largo plazo. La tecnología de construcción de LED ha venido mejorando con el tiempo y ya se pueden conseguir LED de menor tamaño, mejor rendimiento y menores costos. En la figura se puede observar una lámpara común de LED con sus principales componentes funcionales y las medidas típicas para una lámpara de un poste de 150W.



Lámpara de tecnología LED con sus principales componentes.

El color preferido para la iluminación es el blanco debido a que da una mejor perfilación y una definición de colores mucho mayor a las de los demás colores del espectro, además, dentro de la mayoría de normas a nivel mundial los colores usados son blanco y amarillo. En Nicaragua se encuentran principalmente las lámparas de vapor de sodio de alta presión y se propone el reemplazo por tecnología LED. En la actualidad no se ha llevado a cabo ningún estudio que compare las dos principales tecnologías utilizadas teniendo en cuenta los parámetros principales como: potencia, consumo, niveles de iluminación, calidad de iluminación, costos, entre otros. Un estudio serio en este sentido es importante para poder tener herramientas que le ofrezcan asidero para la elección de una u otra tecnología a los entes que manejan el alumbrado público en la ciudad, ya que es de obligatorio cumplimiento, según la normatividad vigente, el elegir la opción más eficiente en todos los sentidos.

5.5.3 Beneficios

Los beneficios identificados por la implementación de un sistema de iluminación usando lámparas de inducción con controles inteligentes son:

- Reducción del consumo de energía eléctrica.
- Reducción de efectos tóxicos en la salud de las personas.
- Versatilidad del control del sistema de alumbrado público.
- Disminución de pérdidas en el sistema eléctrico.
- Acceso a información de parámetros eléctricos en tiempo real.
- Mejora del ornato de la ciudad.
- Aumento del confort visual
- Cuidado del ambiente.
- Aumento de la seguridad.

5.5.4 Desventajas

- Su mayor enemigo son las altas temperaturas, a partir de 65° la mayoría de los LED se estropean. No solo debemos vigilar el LED si no la electrónica que lleva asociada, que suele romperse antes que el LED. ALROMAR comercializa lámparas LED con posibilidad de sustitución de la electrónica.
- Requieren una elevada disipación térmica, si bien generan menos calor que las convencionales, el que genera es muy importante disiparlo, para ello es vital que los disipadores sean de aluminio y con mucha superficie de disipación. Nos garantizará mayor tiempo de vida de la lámpara.
- El precio en comparación con las convencionales es bastante elevado.
- En potencias grandes a partir de 100W, es muy poco competitivo siendo su coste muy elevado, existiendo otras alternativas como la Inducción Magnética.
- La gran oferta de este tipo de productos hace difícil la elección de compra, se debe tener cuidado con los proveedores seleccionados, existe un gran intrusismo en el sector.
- Para iluminación en el sector de alimentación, nosotros aún no hemos conseguido con LED la luz que generan los Philips MASTER TL-D Food, para que carne y la fruta parezcan más apetecibles.

6 EFICIENCIA ENERGETICA

6.1 Concepto

Es el uso racional de energía, esto significa aprovecharla al máximo, sin sacrificio de la calidad de vida que brindan los servicios que recibimos de ella. Podemos seguir utilizando el computador, el automóvil o cualquier equipo que requiera de energía para funcionar, pero evitando el derroche de energía y, en consecuencia, reduciendo la producción de desechos contaminantes. Mediante la práctica de la eficiencia, se logrará un gran impacto en la sociedad, con beneficios económicos y ambientales.

6.2 ¿Dónde está la Eficiencia Energética?

Todas las actividades que se realizan requieren de alguna forma de energía, por esto debemos ser cuidadosos en como la usamos. La iluminación, tanto de espacios públicos como en los hogares, juega un rol fundamental en la eficiencia energética ya que representa un importante consumo de energía eléctrica.

La luz como se dijo antes, es la parte de la energía radiante evaluada visualmente, es decir, la energía que, al interactuar con alguna superficie, se refleja o se transmite hacia el sistema visual y produce la respuesta de los fotorreceptores, dotando al ser humano del sentido de la visión.

Una comprensión integral de la luz implica, además de una aproximación desde la física, la consideración de la respuesta del ser humano, tanto psicológica como fisiológica, ya que la iluminación tiene un propósito más amplio que el de asegurar que los objetos sean vistos.

La naturaleza de los vínculos y relaciones existentes entre las condiciones de iluminación y las características del objeto visual, así como los requerimientos que deben cumplirse para optimizar la habilidad y capacidad humana, son complejos y no existen “fórmulas mágicas” para resolver una dada situación.

Esto se pone de manifiesto en la complejidad de estos estudios y la cantidad de variables involucradas, la mayoría de ellas no controlables. El análisis se hace más complejo si se tienen en cuenta las diferencias individuales, que pueden deberse a la edad de las personas o a las condiciones de la visión, y el peso que tiene la componente visual en la totalidad de la tarea que se está realizando.

Mientras la eficiencia visual se cuantifica a través de la velocidad y la precisión con que se realiza una tarea, el confort visual es una medida del grado en que las condiciones de iluminación predisponen favorablemente a las personas para realizar la tarea.

Los aspectos que afectan a la eficiencia están relacionados con la tarea y su entorno inmediato, mientras que aquellos que influyen sobre el confort involucran aspectos más generales del medio ambiente iluminado. Por ejemplo, puede ocurrir que en una oficina el nivel de iluminación corresponda al valor recomendado pero la fuente luminosa presente un parpadeo molesto, o la presencia de una ventana dentro del campo visual del usuario constituya un foco de distracción debido al deslumbramiento.

En resumen, una buena solución en el diseño de un sistema de iluminación debe asegurar eficiencia visual, confort visual y un medio ambiente apropiado a las personas que utilizarán ese espacio, así como consideraciones: energéticas, condiciones térmicas, acústicas y visuales, ya que todas en conjunto conducirán a una mayor productividad en los usuarios de ese espacio.

6.3 Eficiencia Energética de una Instalación

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada.

ε : Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior

P: Potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares)

S: Superficie iluminada

E_M : Iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento.

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{P} \left(\frac{m^2 * lux}{W} \right)$$

La eficiencia energética se puede determinar mediante la utilización de los siguientes factores:

$$\varepsilon = \varepsilon_L * f_m * f_u \left(\frac{m^2 * lux}{W} \right)$$

ε_L : Eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares

F_m : Factor de mantenimiento de la instalación

F_u : Factor de utilización de la instalación

Factor de mantenimiento: Es la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales.

Factor de utilización: Es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias.

El factor de utilización de la instalación es función del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa y rendimiento de las luminarias, así como de la geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura), como a la disposición de las luminarias en la instalación de alumbrado exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

Para mejorar la eficiencia energética de una instalación de alumbrado se podrá actuar incrementando el valor de cualquiera de los tres factores anteriores, de forma que la instalación más eficiente será aquella en la que el producto de los tres factores - eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares y factores de mantenimiento y utilización de la instalación sea máximo.

A la hora de proponer una reforma de la instalación de alumbrado, se tendrán en consideración los siguientes aspectos:

- Se iluminará únicamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado.
- Se instalarán lámparas de elevada eficacia luminosa compatibles con los Requisitos cromáticos de la instalación.
- Se utilizarán luminarias y proyectores de rendimiento luminoso elevado.
- El equipo auxiliar será de pérdidas mínimas.
- El factor de utilización de la instalación será el más elevado posible.
- El factor de mantenimiento de la instalación será el mayor alcanzable.

Iluminancia media en servicio da E_m (lux)	Eficiencia Energética de referencia $\varepsilon_R \left(\frac{m^2 \cdot lux}{W} \right)$
>30	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
<7,5	9,5

Eficiencia energética

6.3.1 Calificación Energética

Las instalaciones de alumbrado exterior, excepto las de alumbrado de señales y anuncios luminosos, festivos y navideños, se calificarán en función de su índice de eficiencia energética. El índice de eficiencia energética (I_E) se define como el cociente entre la eficiencia energética de la instalación ε y el valor de eficiencia energética de referencia (ε_R) en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada, que se indica en la tabla de continuación.

$$I_E = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}$$

Iluminancia media en servicio da E_m (lux)	Eficiencia Energética de referencia $\varepsilon_R \left(\frac{m^2 \cdot lux}{W} \right)$
>30	32
25	29
20	26
15	23
10	18
<7,5	14

Calificación energética

6.4 Etiquetado de Eficiencia Energética

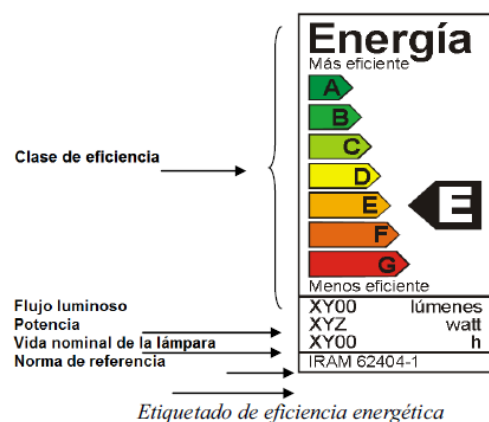
Las etiquetas de Eficiencia Energética se adhieren a los productos para brindar información a los consumidores sobre el desempeño energético del equipamiento que consume energía.

Esta información permite incorporar el consumo energético dentro de las variables que inciden en la decisión de compra de los consumidores. En general, las etiquetas incluyen información adicional como ser la cantidad de energía que consume el equipo, la eficiencia energética del mismo y/o su capacidad de aislamiento térmico o transmitancia.

Con objeto de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y en consonancia con lo establecido en otras reglamentaciones, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras que va desde la letra A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (instalación menos eficiente y con más consumo de energía). El índice utilizado para la escala de letras será el índice de consumo energético (ICE) que es igual al inverso del índice de eficiencia energética:

$$ICE = \frac{1}{I_E} \quad \begin{array}{l} ICE = \text{Índice de consumo energético} \\ I_E = \text{Índice de eficiencia energética} \end{array}$$

A continuación se muestra un ejemplo de etiqueta:



Clase de Eficiencia Energética	Índice de Consumo Energético	Índice de Eficiencia Energética
A	$ICE < 0,91$	$I_E > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq I_E > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq I_E > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq I_E > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq I_E > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq I_E > 0,20$
G	$5,00 \leq ICE$	$0,20 \geq I_E$

Clases de eficiencia energética

7 SITUACION DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN NICARAGUA

Según los datos obtenidos del ministerio de energía y minas se encuentran instaladas en el país aproximadamente 36,000.00 luminarias, de las cuales un 90 % corresponden a lámparas de vapor de Sodio a Alta Presión y el restante en lámparas de vapor de mercurio, reflectores, lámparas de luz mixta, incandescentes. La potencia total consumida por Lámpara de Sodio Alta Presión en el alumbrado público es de 2,819 MWh anual. Las lámparas de Sodio Alta Presión, debido a su bajo costo, han sido utilizadas a gran escala en el alumbrado público del país, hoy en día, debido al crecimiento de la demanda de energía, a la necesidad de preservación del ambiente y a los avances tecnológicos, se hace necesario el uso de nuevas tecnologías con un alto rendimiento, las mismas que generan mayor cantidad de lúmenes por vatio como es el caso de las lámparas LEDs, con el fin de obtener ahorro en el consumo energético y la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero (CO₂).

Los principales problemas de ineficiencia energética en el alumbrado público son:

- Incorrecto funcionamiento de los dispositivos de maniobra,
- Pérdidas por depreciación lumínica,
- Uso de consumo de energía reactiva no deseable,
- Uso ineficiente del consumo debido a sobretensión de las líneas eléctricas,
- No se tienen instalado sistemas de control a nivel nacional.

La propuesta pretende usar luminarias LEDs con eficiencia mejorada, con tecnología que permite reducir la potencia consumida por estas lámparas dependiendo de la hora. Estas luminarias poseen una vida útil de 50.000 horas reduciendo los costos de mantenimiento.

Responsabilidades del alumbrado público en Nicaragua: Las Empresas Distribuidoras son las responsables de la prestación del servicio de alumbrado público y están obligadas a: Expandir el sistema de alumbrado público general a fin de cubrir la demanda del servicio de conformidad con los planes de expansión.

8 ESTUDIO TECNICO DE LAS LAMPARAS LEDS FRENTE A SODIO ALTA PRESION

8.1 Consideraciones Generales

Cada una de las comparaciones a realizarse será analizada entre la lámpara de tecnología LED, la lámpara de mercurio a alta presión y la lámpara de sodio a alta presión, esto por ser cada una de estas usualmente utilizadas y consecuentemente consideradas como una competencia tecnológica y de eficiencia dentro del alumbrado de vías públicas en Nicaragua

8.2 Parámetros de Comparación

8.2.1 Filamento

Los filamentos son el más sensible de los componentes de una lámpara si es que ésta posee uno, ya que durante su funcionamiento, cualquier forma de vibración o perturbación eléctrica puede causar su rotura. Este componente también determina la vida de la lámpara y suele ser la causa de fracaso prematuro y aumento del costo de sustitución, así como los gastos de explotación.

8.2.1.1 Sodio a alta presión
Posee un electrodo principal.

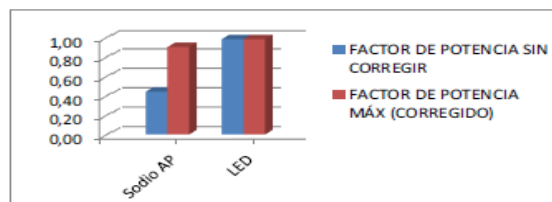
8.2.1.2 SolidState Light LED
No poseen electrodo

8.2.2 Factor de Potencia

Esta es la medida de la capacidad de un aparato eléctrico para realizar un trabajo respecto a la potencia demandada. Esta es la relación de potencia activa, que es la verdaderamente utilizada, respecto a la potencia aparente, que es la que realmente circula por los cables. El sistema de inducción electromagnética de baja frecuencia tiene un factor de potencia de 0,98, mientras que los rangos de otros sistemas oscilan entre un 0,38 y un 0,60.

	FACTOR DE POTENCIA SIN CORREGIR	FACTOR DE POTENCIA MÁX (CORREGIDO)
Sodio AP	0,44	0,9
LED	0,95	0,95

Comparación del factor de potencia



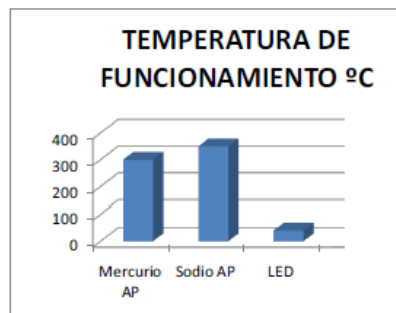
Comparación del factor de potencia

8.2.3 Temperatura de Funcionamiento

La temperatura del funcionamiento de una lámpara viene determinada por las pérdidas por efecto joule que estas presentan.

	TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO °C
Mercurio AP	300
Sodio AP	350
LED	40

Comparación de la temperatura de funcionamiento

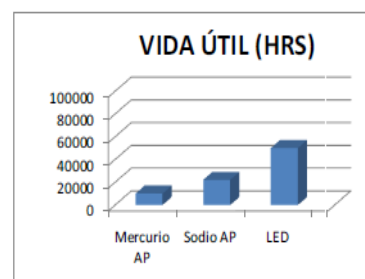


Comparación de la temperatura de funcionamiento

8.2.4 Vida Útil

	VIDA ÚTIL
Mercurio AP	10000
Sodio AP	22000
LED	50000

Comparación de vida útil

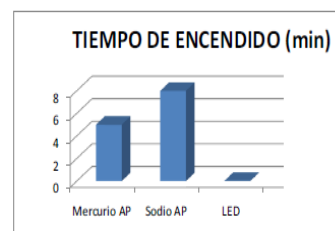


Comparación de vida útil

8.2.5 Tiempo de Encendido y Recuperación

	TIEMPO DE ENCENDIDO (min)
Mercurio AP	4-5
Sodio AP	5-10
LED	instantáneo

Comparación de tiempo de encendido

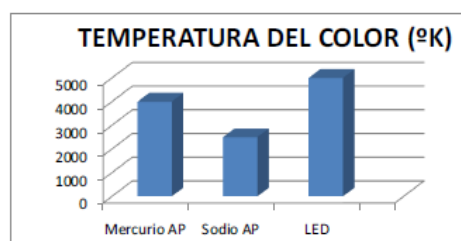


Comparación de tiempo de encendido

8.2.6 Temperatura de Color

	TEMPERATURA DEL COLOR (°K)
Mercurio AP	4000
Sodio AP	2500
LED	6000

Comparación de temperatura de color

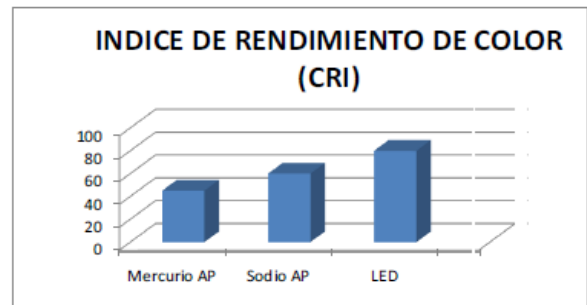


Comparación de temperatura de color

8.2.7 Índice de Rendimiento de Color (CRI)

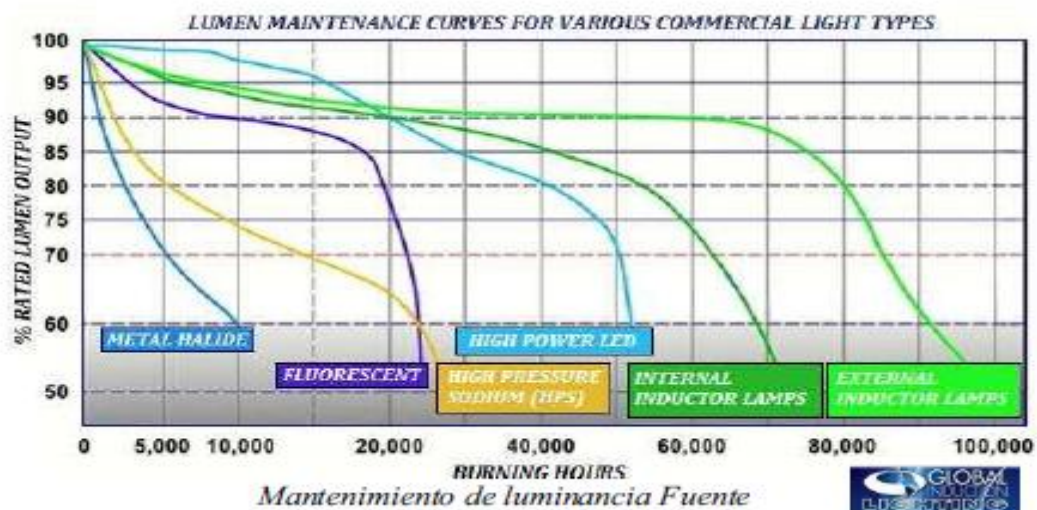
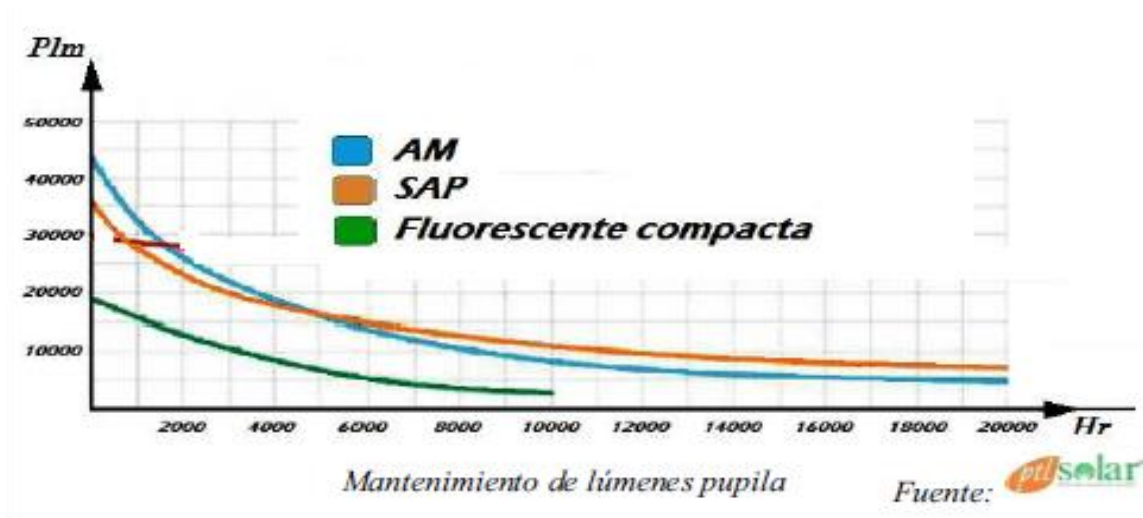
ÍNDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR (CRI)	
Mercurio AP	45
Sodio AP	60
LED	75

Comparación del índice de rendimiento del color



Comparación del índice de rendimiento del color

8.2.8 Mantenimiento de la Luminaria



8.2.9 Funciones de Protección

El balasto electrónico utilizado en los sistemas de inducción cuenta con funciones especiales para la detección de fallas, la protección en circuito abierto y de la potencia de cortocircuito transitoria, al igual que la pérdida de suministro. El funcionamiento se reanuda después del restablecimiento del suministro normal de energía, de forma instantánea, garantizando con esto la vida útil de la lámpara de inducción y del balasto electrónico.

8.2.10 Parpadeo

8.2.10.1 Mercurio a Alta Presión

Las lámparas de mercurio a alta presión presentan mucho parpadeo si es que existen fluctuaciones de voltaje

8.2.10.2 Sodio a Alta Presión

Las lámparas de mercurio a alta presión presentan bajo parpadeo si es que existen fluctuaciones de voltaje.

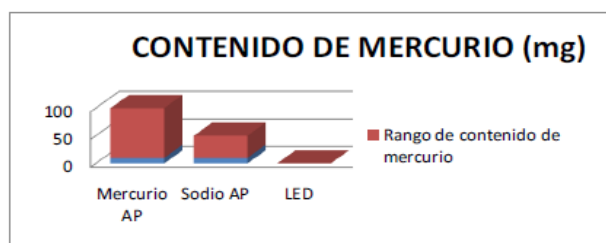
8.2.10.3 Solid State Light LED

Las lámparas de estado sólido no presentan parpadeo alguno.

8.2.11 Contenido de Mercurio

	CONTENIDO DE MERCURIO (mg)
Mercurio AP	> 10 - 100
Sodio AP	> 10 - 50
LED	0

Comparación del contenido de mercurio



Comparación del contenido de mercurio

8.2.12 Tabla comparativa

		Mercurio AP	Sodio AP	LED
Filamento		Si	No	No
Factor de potencia		0,61	0,44	0,98
Temperatura de funcionamiento		300°C	350°C	40°C
Vida útil		10000 hrs	24000 hrs	50000 hrs
Tiempo de encendido		4-5 min	5-10 min	Instantáneo
Temperatura del color		4000°K	2500°K	5000°K
CRI		<69	<69	75
Mantenimiento de luminancia		Gráfico		
Eficacia promedio	Fotópica (PLM/w)	43	90	200
	Lm/w	50	120	90
Parpadeo		Mucho	Medio	Nulo
Contenido de mercurio (mg)		>10-100	>10-50	Nulo
Brillo		Mucho	Mucho	Ninguno
Degradación luminica a 2000 hrs		45%	30%	
Distorsión armónica		≤35%	≤35%	<10%

Tabla comparativa general

Fuente: iluminet

9 ESTUDIO ECONOMICO Y AHORRO ENERGETICO POR LA IMPLEMENTACION DE LAMPARAS LEDs.

Este documento compara los costos y ahorro en energía al sustituir las Lámparas Sodio Alta Presión por Lámparas LEDs en el alumbrado público, que implican la renovación de luminarias en uso, sin cambios en la capacidad y calidad de los servicios de iluminación que éstas prestan.

Por ello, la formulación y evaluación de nuevos proyectos de alumbrado público queda fuera del alcance de esta versión metodológica.

En particular, este estudio ha sido elaborado con el objetivo principal de proveer los elementos necesarios para decidir sobre el reemplazo de equipos por alternativas más eficientes energéticamente en el marco del mejoramiento de la eficiencia energética del alumbrado público.

9.1 Identificación de Beneficios

Los beneficios corresponden al valor que tiene para el país, ejecutar el proyecto, medido conceptualmente a través del aumento del consumo de los bienes y servicios producidos por el proyecto y por la liberación de recursos de los insumos que el proyecto genera.

En el caso de los proyectos que aumentan el nivel de servicio (ampliación y aumento de capacidad), es decir que, entregan una mayor cantidad de bienes y servicios, por ejemplo aumento de los índices de luminosidad, continuidad en la entrega, seguridad de la programación de producción, los beneficios corresponden al aumento en el consumo de los bienes y servicios.

Por otra parte, en la evaluación de proyectos de reemplazo, sólo son relevantes los costos entre ambas situaciones. Así, en este tipo de proyecto los beneficios están dados por la liberación de recursos de producción atribuida a la mejora tecnológica

Algunos tipos de beneficios:

- Disminución de costos de operación y mantenimiento
- Disminución de gases de efecto invernadero
- Disminución de contaminación lumínica
- Menor disposición de lámparas contaminantes
- Disminución en el consumo de Energía
- Disminución por emisión de gases de efecto invernadero

9.2 Consumo de Energía

El consumo depende de la potencia y de las horas de uso de cada equipo. La potencia es la capacidad que tiene un equipo eléctrico para poder funcionar o realizar su trabajo, o para decirlo de otra manera, es la cantidad de energía que requiere un equipo para poder funcionar. El consumo de las lámparas de alumbrado público generalmente se da en valores de kilovatios (Kw) pero se traduce a valores de consumo de energía que se presentan en forma de kilovatios-hora (KWh).

El consumo de energía en el alumbrado público se determina teniendo en cuenta la carga útil instalada que depende del número de luminarias, la potencia de cada una de ellas, el factor de utilización, factor de mantenimiento, número de días y otros factores determinados por el prestador del servicio.

Procedimiento para la obtención del consumo de las lámparas: Para determinar el consumo de las lámparas de este estudio se siguieron los siguientes pasos:

- Determinación del consumo de las lámparas.

Para las lámparas de vapor de sodio se tuvieron en cuenta los valores de consumo dados por INE publicado el 13 de abril del 2012 en la Gaceta, que es el ente que regula a la empresa distribuidora de Energía eléctrica en Nicaragua.

- a. Número de lámparas. Estos datos también fueron brindados por Ministerio de Energía y Minas, actualmente en Nicaragua hay unas 36,000 Lámparas de Sodio a Alta Presión.
- b. Obtención de la carga útil. Para determinar la carga útil se necesita aplicar la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{N_L * P}{1000}$$

Donde,

Q = Carga instalada

N_L = Número de lámparas.

P = Potencia de las lámparas.

- c. Determinación del consumo total de energía. Para la obtención de este otro dato se aplica la ecuación:

$$C = \frac{Q * N_d * F_m * F_u * 24}{1 - P_R}$$

Donde,

C = Consumo mensual.

Q = Carga instalada.

N_d = Número de días del mes.

F_m = Factor de mantenimiento.

F_u = Factor de utilización.

$1 - P_R$ = Eficiencia.

- d. Determinación del costo mensual de la energía. Mediante los datos obtenidos anteriormente se puede obtener el consumo mensual (en pesos) de alumbrado público en la ciudad de Ibagué.

Resultados. Para una mejor visualización de los resultados obtenidos y para poder realizar una mejor comparación entre los consumos de las lámparas, se tabularon los datos siguientes.

9.3 Determinación del Costo y consumo actual del alumbrado Público:

A continuación se presenta el consumo actual en KWh por mes en el alumbrado público de Nicaragua, costo de la factura mensualmente facturada, costo de la inversión en lámparas tipo LEDs y recuperación de la Inversión.

a. Consumo actual por Lámpara de Sodio a Alta Presión en el Alumbrado Público de Nicaragua.

CONSUMO ACTUAL DE SAP EN EL ALUMBRADO PUBLICO						
Nº bombillas	wat/h	horas/dia	dias	coste Kw/h	Factura Men kwh	Cons Men Kwh
32400	250	12	30	0,317897959	\$926.990,45	2916000

b. Costo de la Inversión por compra de Lámparas LEDs

INVERSION POR COMPRA DE LAMAPRAS LEDs				
	Nº bombillas	Precio		Total
Nuevas	32400	\$500,00		\$16.200.000,00
			INVERSIÓN	\$16.200.000,00

c. Determinación del Costo y consumo con lámparas LEDs en el alumbrado Público

Con lamparas LEDs						
Nº bombillas	wat/h	horas	dias	coste Kw/h	factura actual	Cons Men Kwh
32400	168	12	30	0,317897959	\$622.937,58	1959552

d. Recuperación de la Inversión

Ahorro en una Año de la Inversion en Lamapras Leds				
Meses	Anterior	actual	AHORRO	ACUMULADO
1	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$304.052,87
2	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$608.105,73
3	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$912.158,60
4	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$1.216.211,47
5	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$1.520.264,34
6	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$1.824.317,20
7	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$2.128.370,07
8	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$2.432.422,94
9	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$2.736.475,81
10	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$3.040.528,67
11	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$3.344.581,54
12	\$926.990,45	\$622.937,58	\$304.052,87	\$3.648.634,41
		Recuperación INV en Años		4,44

Como se puede observar en los cálculos realizados y en los datos mostrados en las tablas, el consumo de las lámparas de vapor de sodio es mayor al que presentan las lámparas de LEDs. En lo que tiene que ver con los datos teóricos o de placa, las lámparas de LEDs presentan un consumo 32.8% menor que las de vapor de sodio de potencia y características equivalentes.

En lo que tiene que ver con los datos de consumos reales de las lámparas se nota un mayor ahorro de consumo de energía de las lámparas tipo LED con respecto a las de vapor de sodio de alta presión. El consumo en este caso es menor 32.8 % de las LED con respecto a las de vapor de sodio.

En números, existe un ahorro mensual en factura de energía de \$ 304,052.87 y un ahorro anual de \$3, 648,634.41 Este es un ítem muy importante pues no sólo se nota un ahorro muy grande en la parte económica que lleva a una destinación del presupuesto ahorrado en ampliación de cobertura y mejoramiento de tecnología, sino que además se cumple con los objetivos del Programa de Uso Racional de la Energía.

10. CONCLUSIONES

- Los bajos requerimientos de iluminación del alumbrado público con respecto a la iluminación de otras actividades cotidianas del ser humano, han llevado a establecer parámetros que provocan la inconformidad en su calidad, por no considerar aspectos tan importantes como el mecanismo de visión del ojo humano en las condiciones en las cuales se desarrolla: claridad, poca luz u oscuridad.
- La iluminación LEDs posee una serie de ventajas que la convierten en la fuente de luz ideal para un espectro cada vez mayor de aplicaciones, gracias a su fiabilidad técnica, bajo mantenimiento y facilidad de encendido.
- La iluminación pública es hoy en día un feudo casi exclusivo de las lámparas de vapor de sodio, tanto de alta como baja presión.
- Hoy en día, la iluminación LEDs ya tiene suficiente entidad y acumula ventajas significativas como para medirse e incluso superar a las lámparas convencionales de vapor de sodio, especialmente en aquellas aplicaciones críticas, donde se requieren ciclos de apagado y encendido rápido o donde prima la calidad y reproducción de colores y el bajo coste de mantenimiento.
- La vida operativa de un módulo LEDs se establece en 50.000 horas. Para una luminaria que permanece encendida 8 horas al día, esta durabilidad excede los 17 años de uso.
- Las lámparas de sodio de baja presión suelen proporcionar una vida operativa de 7.000 horas antes de requerir sustitución y las de vapor de sodio a alta presión suelen proporcionar unas 10.000 horas de vida útil operativa.

11.RECOMENDACIONES

Implementar proyectos pilotos de alumbrado público con controles inteligentes que permitan acumular experiencias que aporten a la toma de decisiones que contribuyan al desarrollo del alumbrado vial.

Estimar los costos involucrados en un proyecto de alumbrado público, con criterios técnicos basados en experiencias de otros proyectos similares ejecutados.

Buscar apoyo de organizaciones internacionales para obras de eficiencia energética, en el financiamiento de proyectos que evitan la contaminación ambiental como el acuerdo de Kioto, mediante el uso de bonos de carbono.

Elaborar un proyecto a nivel nacional como política de estado de ahorro energético, acompañado de una normativa para su implementación progresiva en todo el país.

12. BIBLIOGRAFÍAS

- <http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jaureguizll.pdf>
- <http://www.wikipedia.com>
- <http://www.enatrel.gob.ni/>
- <http://www.mem.gob.ni/index.php?s=1>
- <http://www.disnorte-dissur.com.ni/RSC.aspx?load=5>
- <http://www.ine.gob.ni/>
- instalaciones eléctricas Conceptos básicos y diseño Bratu campero.
- Normativas de alumbrado público de Nicaragua
- Normativas de instalaciones de enlace de Nicaragua.
- FLECTOR B.J.C. "Luminotecnia, Principios y Aplicaciones". Segunda Edición. Editorial JOSA. 1971.
- Yunjian; REA, Mark; BIERMAN, Andrew; BULLOUGH, John. "Evaluating Light Source Efficacy under Mesopic Conditions Using Reactions Times". Lighting Research Center.RensselaerPolytechnicInstitute. TroyNY. 12180.

ANEXOS

Parámetros Técnicos Iluminación Lámparas LED LU6

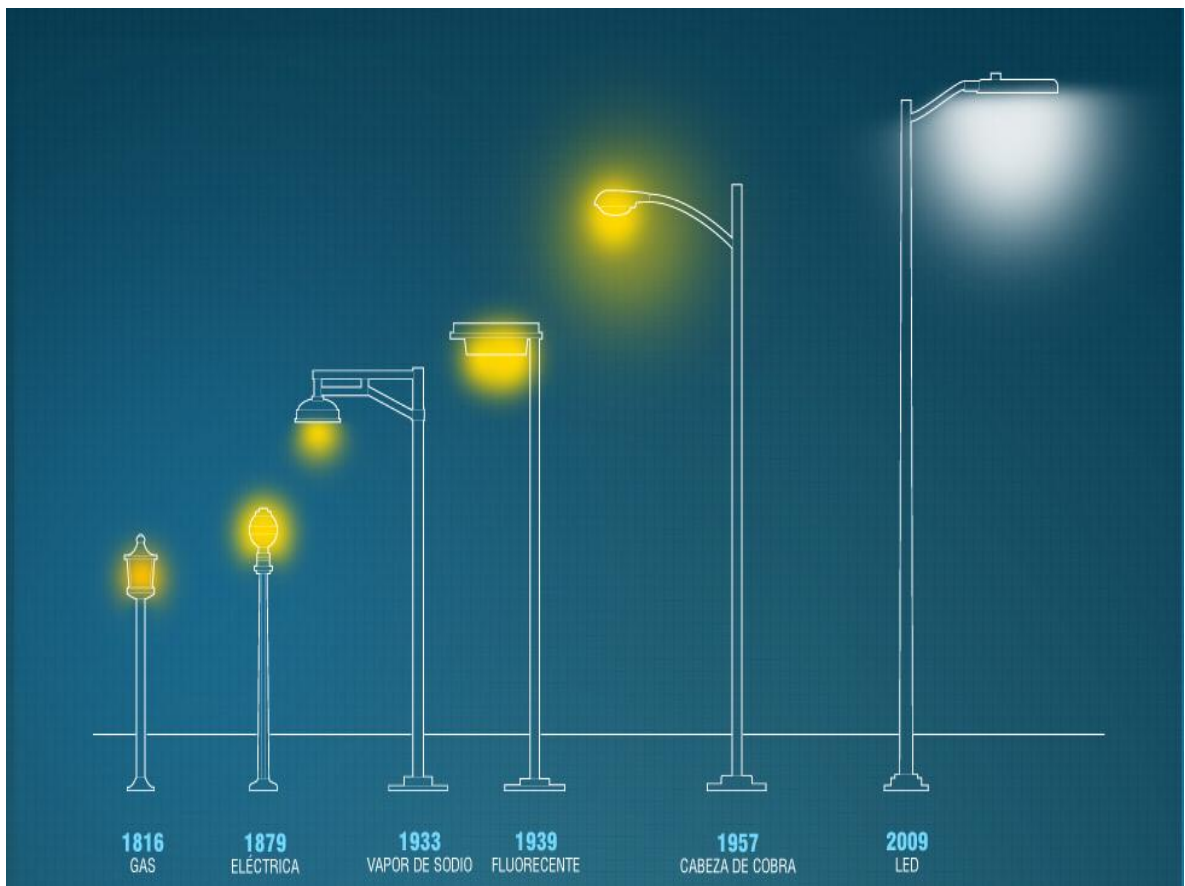


Modelo	LU6
Voltaje de entrada	85-265VAC
Rango de Frecuencia	47 ~ 63 Hz
Factor de Poder (PF)	> 0.9
Distorsión Armónico Total	< 20%
Rendimiento de Poder	85 %
Voltaje	24VDC
Consumo de LED	168 W
Consumo de Suministro de Poder	30 W
Rendimiento Luminoso de LED	≥ 80 lm/w
Flujo Inicial de LED	15,000 lm (Tj=25°C)
	14,000 lm (Tj=60°C,Ta=25°C)
Producción Salida Flujo	12,600 lm (Tj=60°C,Ta=25°C)
Rendimiento Lampara (%)	> 90 %
Iluminación (E)	(Alto=6 m) ≥ 80 lux (Igual a Luz de Sodio o HPS 200 lux) (Alto=8 m) ≥ 45 lux (Igual a Luz de Sodio o HPS 113 lux) (Alto=10 m) ≥ 28 lux (Igual a Luz de Sodio o HPS 70 lux) (Alto=12 m) ≥ 20 lux (Igual a Luz de Sodio o HPS 50 lux)
Área Efectiva de Iluminación	20×8 m (Alto=6 m) 26×10 m (Alto=8 m) 33×13 m (Alto=10 m) 40×16 m (Alto=12 m)
Color de Ambiente	Blanco Puro : 5,000 ~ 7,000 K, Blanco Blanco:3,000~4,000K
Color de Índice (CRI)	Ra > 75

Alumbrado Público En la Avenida a Tiscapa



Evolución De Lámparas De Alumbrado Público En El Pasar De Los Tiempos



Farolas LEDs y Alumbrado Público

