

15. Auditoría Energética en Alcaldías

E. A. Matamoros, E. V. Moreno y A. Urrutia, Departamento de Ciencias Energéticas y Fluidicas-UCA.

Resumen

En el presente proyecto se realiza la auditoría energética de el alumbrado público de los municipios de San Luis La Herradura y Santiago Nonualco con el fin de dar a conocer el estado actual de la instalación de dicho servicio, además de presentar también un antecedente en donde se forje un ejemplo a seguir para los demás municipios pertenecientes a la sociedad de los Nonualcos. Todo esto es tomado en cuenta en un análisis de las diferentes tecnologías existentes en ambos municipios, mencionando sus ventajas y desventajas, para posterior mente concluir en un análisis económico en donde se hace un estudio respecto a el ahorro que se obtiene al sustituir la tecnología mas ineficiente por una eficiente.

Palabras claves

Auditoría energéticas, La luz, Magnitudes y conceptos básicos, Tecnología luminosa.

I. INTRODUCCIÓN

A. Auditoría energética.

Una auditoría energética es la herramienta sobre la que se fundamenta un plan estructurado de ahorro energético. La auditoría energética implica realizar una labor de recopilación de información, análisis, clasificación, propuesta de alternativas, cuantificación de ahorros y toma de decisiones, además de evitar el derroche y el mal uso de recursos [1].

El sistema de alumbrado público es el servicio que consiste en la iluminación de las vías públicas, parques públicos, y espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público, diferente del municipio, con el objeto de proporcionar la visibilidad y seguridad adecuada para el normal desarrollo de las actividades cotidianas.

Es un hecho real que la energía eléctrica nos cuesta cada día más, esta conducta seguirá afectando a todos los sectores en sus gastos de operación, exigiendo progresivamente más recursos financieros [2].

De lo anterior surge la necesidad de realizar una auditoría energética con el fin de detectar las diferentes formas de ahorro, mejora de la eficiencia del sistema, sustitución de tecnologías obsoletas que influyen en costos energéticos y de mantenimiento, así como otros beneficios que cada una de estas mejoras y soluciones relacionan de manera implícita o explícitamente.

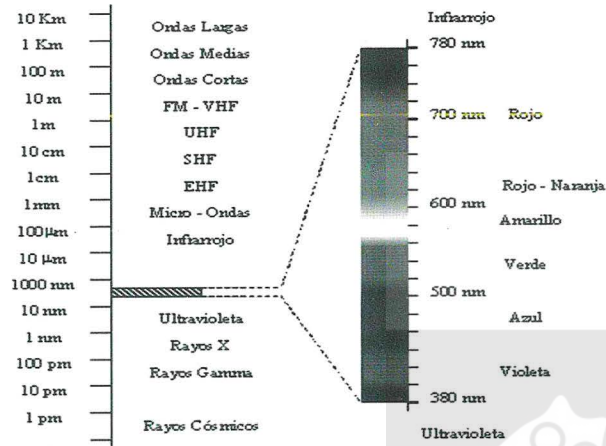
B. La luz y el espectro electromagnético.

Al igual que el sonido, la luz es otra forma de energía conocida como energía radiante, que también se propaga mediante ondas, ésta puede provenir de una fuente natural, como el Sol, o artificial como las velas, focos y lámparas. La luz viaja en línea recta y en todas direcciones a gran velocidad, alcanza 300,000 km por segundo y dependiendo del material al que llegue, la luz puede transmitirse, reflejarse o absorberse [3].

Para el ojo humano existe un pequeño rango dentro de la porción visible del espectro electromagnético, que se extiende de los 380 a los 770 (nm) [4].



Fig. 1 Espectro Electromagnético [4].



C. Magnitudes y conceptos básicos.

Es importante conocer algunos conceptos y magnitudes que ayuden a comprender más a fondo el comportamiento de los fenómenos luminosos, estas magnitudes suelen ser calculadas de una manera sencilla y mecánica, no obstante son importantes en el desarrollo del diseño de aspectos técnicos de iluminación. A continuación se definen algunos conceptos importantes:

- El flujo luminoso: es la potencia lumínica emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible, su símbolo es Φ y su unidad es el lumen (lm). Para poner un ejemplo, se imaginará que se cuentan con dos bombillas, la bombilla uno es de 60 Watts y la bombilla dos es de 100 Watts respectivamente, por simple inspección podríamos notar que la bombilla de 100 Watts proporcionara una luz más intensa, sin embargo solo la parte de esa potencia que se convierte en luz visible se llama flujo luminoso [5].

- La intensidad luminosa: Se define como la cantidad de luz radiada por una fuente de luz en una dirección determinada, su símbolo es I y su unidad es la candela (cd) [6].

- La iluminancia: Es llamada también nivel de iluminación y se define como la densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie, su símbolo es E y su unidad es el lux (lx). Un lux es equivalente a un lumen por metro cuadrado [7].

- La luminancia: Es la cantidad de luz reflejada por una superficie en una dirección determinada, su símbolo es L y su unidad es la candela por metro cuadrado (cd/m²) [8].

- La eficiencia luminosa: Es la relación que existe entre el flujo luminoso que emite una fuente de luz y la potencia eléctrica que ésta consume; su símbolo es η y su unidad de medida es el lumen por watts (lm/W). Recuérdese que no toda la potencia eléctrica que consume la luminaria se convierte en Luz visible como ya lo mencionamos anteriormente, esto es porque una parte de la potencia es disipada en forma de calor y otra en forma de radiación no sensible al ojo humano [9].

- El índice de reproducción de color IRC: Se relaciona a la capacidad que tiene la fuente de luz de reproducir el color natural de los objetos, este es medido en una escala de 0 a 100. Este factor se determina comparando el aspecto cromático que presentan los objetos iluminados por una fuente dada con el que presentan iluminados por una "luz de referencia". Los espectros de las lámparas incandescentes o de la luz del día se denominan "continuos" por cuanto contienen todas las radiaciones del espectro visible y se los considera óptimos en cuanto a la reproducción cromática; se dice que tienen un IRC igual a 100. En realidad ninguno de los dos es perfecto ni tampoco son iguales (al espectro de la lámpara incandescente le falta componente "azul" mientras que a la luz del día "roja") [10].

- La temperatura del color: Es una escala científica (medida en Kelvin) que pretende describir la apariencia, ambiente o atmósfera creada

por la luz. Para ello se compara la fuente de luz (lámpara), con la luz que emite un “cuerpo negro radiante” (similar a un trozo de metal) cuando se calienta. A medida que el metal adquiere temperatura, va cambiando el color de la luz que emite en la siguiente secuencia: rojo, naranja, amarillo, blanco, y blanco azulado. Como este color depende solamente de la temperatura, éste valor es el que se conoce entonces como temperatura del color. Clásicamente, las fuentes de luz se pueden clasificar en tres categorías según su temperatura. Llamaremos “luz fría”, “luz diurna”, o “daylight white” a aquellas lámparas cuya temperatura de color es mayor a 5000K. Llamaremos “luz cálida”, “blanco cálido”, o “warm white” a aquellas lámparas cuya temperatura de color sea menor a 3300K. Por último, las temperaturas que rondan los 4000K corresponden a las llamadas lámparas de “blanco neutro”, o “neutral white” [10].

Fig. 2 Índice de reproducción de color (IRC) [10].

| Rango | Descripción |
|----------------|---------------------------------|
| 90 < IRC < 100 | Excelente reproducción de color |
| 80 < IRC < 90 | Buena reproducción de color |
| 60 < IRC < 80 | Moderada reproducción de color |
| IRC < 60 | Pobre reproducción de color |

Fig. 3 Temperatura de color [10].

| TEMPERATURA DE COLOR | GRADOS KELVIN | EFECTOS Y AMBIENTES ASOCIADOS |
|----------------------|---------------|---|
| CÁLIDO | 2700-3900°K | Amigable Intimo Personal Exclusivo |
| NEUTRAL | 4000 - 4100°K | Amigable Invitante |
| FRÍO | 4200 - 6500°K | Dinámico Limpio Optimo |

D. Tipos de tecnologías luminosas para alumbrado público.

Las lámparas son los aparatos encargados de generar la luz. En la actualidad, en alumbrado público se utilizan las lámparas de descarga frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y mayor ahorro energético y económico. Concretamente, se emplean las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y las de vapor de sodio a baja y alta presión. En la última década se han producido un gran desarrollo de los diodos emisores de luz, más conocidos por su acrónimo en inglés: LED y que cada vez es más su uso en alumbrado público [11].

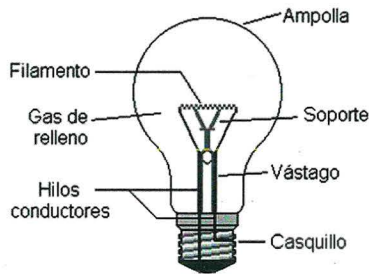
Luminaria se define como el conjunto de elementos para distribuir, filtrar, controlar, transformar y dirigir la luz emitida por la bombilla, incluye todos los accesorios mecánicos, ópticos y eléctricos indispensables para el soporte, protección de las bombillas y su conexión a la fuente de alimentación [12].

A continuación se describirán los principales tipos de fuentes de iluminación artificial para alumbrado público:

- **Lámpara incandescente:** Son lámparas cuya luz es generada al pasar la corriente eléctrica por un filamento de tungsteno, hasta una temperatura tan elevada que emite radiaciones visibles. Para evitar que el filamento haga combustión, se cubre con una ampolla de vidrio sellada al vacío o rellena con gas. En general, el rendimiento de este tipo de lámparas es bajo puesto que la mayor parte de la energía se convierte en calor. Su ventaja es que garantiza la reproducción de los colores de los objetos iluminados [6].

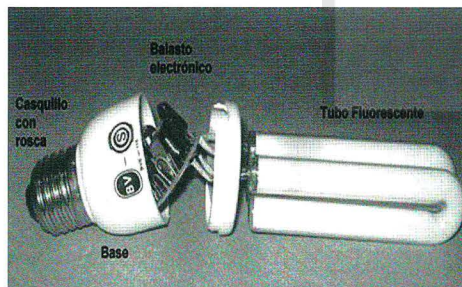


Fig. 4 Lámpara Incandescente [6].



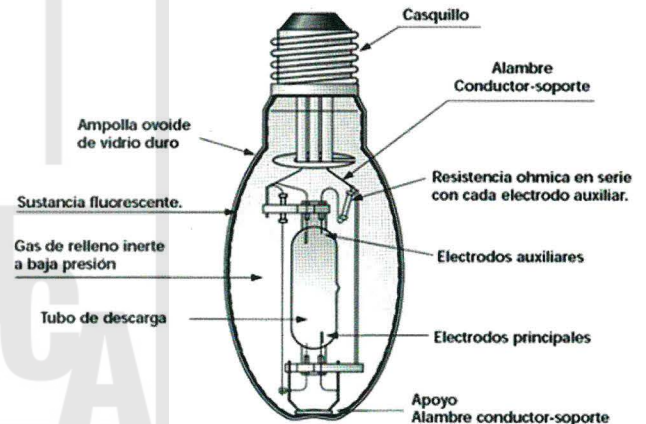
- **Lámpara Fluorescente compacta:** Es una lámpara de descarga de baja presión en forma de tubo, rellena en su interior de vapor de mercurio. A través de la descarga, se emite una radiación UV invisible que se convierte en luz gracias al polvo fluorescente. Estas lámparas reúnen las cualidades de los tubos fluorescentes en las dimensiones de una lámpara incandescente. Poseen además buenas características de reproducción de color y bajo consumo de energía, con un rango considerado de vida útil. Pueden venir con o sin balasto incorporado, según el tipo de rosca [6].

Fig. 5 Lámpara fluorescente compacta [6].



- **Lámpara de mercurio a alta presión:** La luz emitida por esta lámpara es de color azul verdoso, característico de la alta presión. Su eficiencia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales, el cual ioniza el contenido de la lámpara y facilita la descarga y por lo consiguiente el encendido de la luminaria. Este proceso tiene una duración de aproximadamente 4 minutos, durante el cual la lámpara va pasando del tono violeta al blanco azulado, a medida que se va encendiendo. Se necesitan equipos auxiliares tales como un balasto (inductancia) para regular la corriente de encendido y evitar la ruptura de la capsula de cuarzo, además de un condensador para mejorar su factor de potencia. [6].

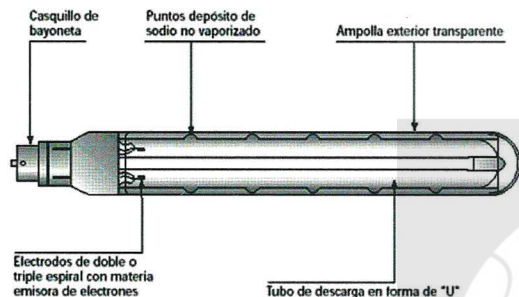
Fig. 6 Lámpara de mercurio [6].



- **Lámpara de vapor de sodio a baja presión:** El tubo de descarga de una lámpara de vapor de sodio a baja presión es en forma de U y está contenido en una cubierta exterior de vidrio tubular vacío, con capa de óxido de indio en la superficie interna. El vacío, junto

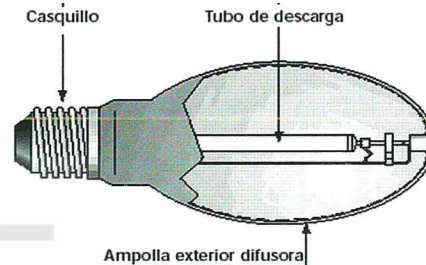
con la capa, que actúa como reflector selectivo de infrarrojo, ayudan a mantener la pared del tubo de descarga a una temperatura de trabajo adecuada (269 °C). Estas medidas son necesarias para que el sodio, que cuando se condensa se deposita en hendiduras del vidrio, se evapore con una pérdida mínima del calor; con esto se logra la mayor eficiencia luminosa posible [6].

Fig. 7 Lámpara de vapor de sodio a baja presión [6].



- **Lámpara de vapor de sodio a alta presión:** Estas lámparas contienen un exceso de sodio en comparación con los de baja presión. Poseen además mercurio y xenón para facilitar el encendido y eliminar la conducción de calor del arco de descarga a las paredes del tubo de descarga. Este tipo de lámpara abarca casi todo el espectro visible y es ampliamente usado en iluminación de exteriores por su capacidad de acentuar los elementos iluminados. Utiliza equipos auxiliares para su encendido tales como inductancia para estabilizar la corriente, el arrancador o ignitor para el arranque que le suministra un pico de alto voltaje entre 2.5 kV a 5 kV en un tiempo muy pequeño en ms y un condensador para mejorar su factor de potencia [6].

Fig. 8 Lámpara de vapor de sodio a alta presión [6].



- **La Lámpara de Inducción Electromagnética:** Es un nuevo concepto de muy alta tecnología para el ahorro energético en la iluminación, basado en el principio de gas de descarga de las lámparas fluorescentes y en el principio de la inducción electromagnética de alta frecuencia. Las lámparas sin electrodos por inducción electromagnética, producen luz visible de excelente calidad sin parpadeos, con una alta eficacia luminosa (70 a 85 lm/W) y un alto índice de rendimiento de color IRC (mayor a 80) gracias al principio de inducción electromagnética descubierto por Nicola Tesla a principios del siglo XX. Una de sus desventajas es que son sensibles a la calidad de energía suministrada [13].

Fig. 9 Lámpara de inducción [13].



- **Lámparas LED:** LED son las siglas de Light Emission Diode, en castellano diodo de emisión de luz. Se trata de un dispositivo sólido, semiconductor y que emite una radiación óptica cuando lo excita una corriente eléctrica.

Las características de los sistemas de iluminación LED que suponen una ventaja frente a la iluminación convencional son su larga vida útil, su escaso consumo, y la reducción al mínimo de la emisión de calor y rayos ultravioleta. Tampoco contienen gases ni metales pesados, por lo tanto son menos contaminantes que el resto ya que incluso las de bajo consumo, fluorescentes compactas, llevan mercurio [14].

Fig. 10
Lámpara
LED [14].

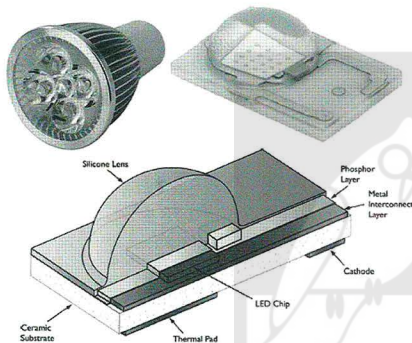


Fig. 11 Características más importantes de las lámparas [14].

| Tipo de Lámpara | Temperatura de color (°K) | Eficiencia Luminosa (lm/W) | Promedio de vida útil (Horas) | Tiempo de encendido (minutos) | |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| Incandescentes | Con gas | 2500 | 10 - 20 | 1000 | - |
| | Al vacío | 2100 | 7.5 - 11 | 1000 | - |
| Fluorescentes Compactas | 2700 - 4100 | 50 - 82 | 10000 | 1 seg | |
| Mercurio a Alta Presión | 4000 - 4500 | 40 - 63 (*) | 24000 | 5 - 7 | |
| Vapor de Sodio a Baja Presión | 1800 | 100 - 183 (*) | 18000 | 2 - 4 | |
| Vapor de Sodio a Alta Presión | 2100 | 70 - 130 (*) | 24000 | 3 - 4 | |
| Inducción | 6500 | 85 | 60000 | 0.5 seg | |
| LED | 6500 | 100 | 50000 | - | |

(*) Utilizan equipos auxiliares (Balastos, Capacitores e ignitores)

II. METODOLOGÍA

A. Censo.

Se realizó un censo de tecnología de alumbrado público instalada en cada municipio tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Tipo de tecnología.
- Potencia nominal.
- Cantidad estimada por DELSUR en 2012.
- Censo realizado por estudiantes UCA en junio de 2013.

Con los datos basados en los criterios anteriores se construyó una tabla la cual se representó en un gráfico de pastel para analizar los resultados correspondientes.

Posteriormente se hizo una recopilación de los censos hechos en 2011 y 2012 por DELSUR, a los cuales se agregó el Censo realizado por estudiantes UCA en junio 2013 para comparar y graficar la tendencia de cada tecnología de alumbrado público en cada municipio.

B. Medición de niveles de tensión y corriente en las luminarias.

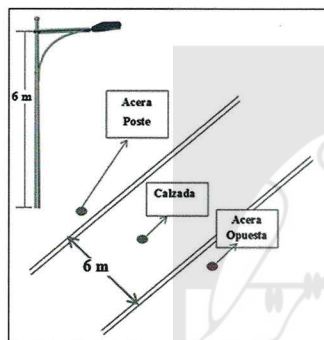
Se midió el voltaje y la corriente en las luminarias instaladas en el casco urbano de cada municipio para lo cual se tomó en cuenta las tecnologías instaladas en los puntos de alimentación o transformadores que alimentan los circuitos de la zona antes mencionada.

Esto se hizo con el fin de calcular los porcentajes de tensión mínimos y máximos recomendados por la Norma SIGET 192-E-2004 la cual menciona lo siguiente:

Fig. 12 Valores de tensión permitidos por la norma SIGET 192-E-2004.

| NIVEL DE TENSIÓN | ΔV_k | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|------------|--------------|
| | Régimen período año 2005 en adelante | | |
| | Urbano | Rural | Aislado |
| Baja Tensión (≤ 600 V) | $\pm 7 \%$ | $\pm 8 \%$ | $\pm 8.5 \%$ |
| Media Tensión ($600V < V < 115kV$) | $\pm 6 \%$ | $\pm 7 \%$ | $\pm 8.5 \%$ |

Fig. 13 Ilustración de los puntos de toma de mediciones de LUX [15].



C. Medición de niveles de iluminación.

Se hicieron mediciones de Lux en las diferentes lámparas de alumbrado público instaladas en el casco urbano de cada municipio, basándose en la siguiente imagen:

Esto se representó en una tabla tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Zona (Casco Urbano)
- Tipo de lámpara
- Actual Lux: Acera poste, Calzada y acera opuesta.

Los resultados de esta tabla se compararon con los valores recomendados por la Norma Oficial Mexicana NOM 2005, la cual recomienda para el tipo de carretera o vía presente en ambos municipios, los siguientes valores de niveles de iluminación mínimos requeridos para la calzada:

Fig. 14 Valores de Iluminancia mínimos para Calzada.

| Clasificación de vialidades | Clasificación del pavimento | | |
|--|-----------------------------|---------------------------------|----------------|
| | R ₁ | R ₂ y R ₃ | R ₄ |
| | Lux min | Lux min | Lux min |
| Autopistas y carreteras | 4 | 6 | 5 |
| Vías de acceso controlado y vías rápidas | 10 | 14 | 13 |
| Vías principales y ejes viales | 12 | 17 | 15 |
| Vías primarias y colectoras | 8 | 12 | 10 |
| Vías secundaria residencial Tipo A | 6 | 9 | 8 |
| Vías secundaria residencial Tipo B | 5 | 7 | 6 |
| Vías secundaria industrial Tipo C | 3 | 4 | 4 |
| Andadores alejados de vialidades | — | — | — |
| Túneles de peatones | — | — | — |

Dado que la Norma oficial mexicana NOM 2005 no especifica valores de lux recomendados para aceras o para el caso acera poste y acera opuesta, el análisis se basará en lo recomendado por "Road Lighting Desing Manual 2010", la cual recomienda lo siguiente:

Fig. 15 Valores de iluminación mínimos para acera poste.

| Roadway and Walkway Classification | R1 | | R2 & R3 | | R4 | | Max Unif. avg/min |
|------------------------------------|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|-------------------|
| | foot-candles | Lux | foot-candles | Lux | foot-candles | Lux | |
| Commercial | 0.9 | 10 | 1.3 | 14 | 1.2 | 13 | 3:1 |
| | 0.6 | 6 | 0.8 | 9 | 0.8 | 8 | 4:1 |
| Sidewalks Residential | 0.3 | 3 | 0.4 | 4 | 0.4 | 4 | 6:1 |



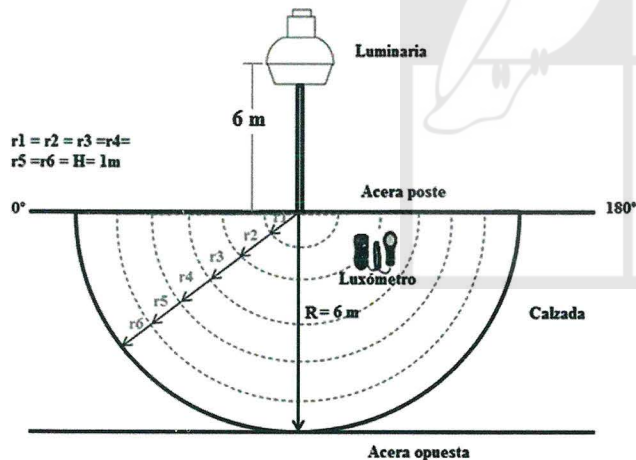
D. Curvas de Isolux.

A continuación se muestra el procedimiento de como se graficaron las curvas de isolux de los diferentes tipos de tecnologías construidas con los datos de iluminancia adquiridos de la siguiente manera:

- 1.-Se realizaron 6 semicírculos tomando como punto inicial el poste donde se encontraba instalada la luminaria.
- 2.-La separación entre los semicírculos fue de un metro, siendo el último igual al ancho de la calle.
- 3.-Se tomaron valores de iluminancia en cada semicírculo. Esto se hizo punto a punto hasta completar un rango de ángulos entre 0° a 180° .

La Fig. 16 se muestra e ilustra lo mencionado anteriormente.

Fig. 16 Ilustración de construcción de curva de isolux.



Auditoría Energética en Alcaldías

E. Estudio económico de la facturación actual de alumbrado publico.

Se realizó un análisis comparativo de costos de facturación (con respecto al censo realizado por DELSUR y el censo realizado por los alumnos UCA en junio de 2013) de alumbrado público instalada en cada municipio tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Tipo de luminaria
- Energía en KWh al mes
- Cantidad de luminarias DELSUR diciembre 2012
- Costo de energía en \$/KWh
- Costo distribución en \$/KWh
- Total cargo por energía
- Total cargo por distribución y por energía

Esto se realizó con el fin de estimar el Consumo Anual en KWh y Costo Anual por Energía y Distribución, de cada municipio.

Luego tomando en cuenta lo anterior se propuso una tecnología alternativa que dada sus mejoras tecnológicas podría sustituir las tecnologías presentes en el alumbrado público de cada municipio, esto se hizo tomando en cuenta las dos alternativas siguientes:

Alternativa 1:

- Reemplazo total de luminarias
- Cantidad total de luminarias por alumnos de la UCA en junio 2013
- Precio aproximado Luminaria LED
- Inversión Aproximada
- Ahorro anual realizando cambio total luminarias
- Retorno de la inversión (años)

Alternativa 2:

- Reemplazo parcial de luminarias (casco Urbano)
- Cantidad parcial(casco urbano) de luminarias por alumnos de la UCA en junio 2013
- Precio Luminaria LED
- Inversión aproximada (casco Urbano)
- Ahorro anual realizando cambio parcial luminarias
- Retorno de la inversión (años)

III. RESULTADOS

A. Censo.

En las Tablas I y II se presentan los datos recolectados por parte de la distribuidora (DELSUR) en diciembre del 2012. Así como también los datos adquiridos mediante el censo realizado durante el trabajo de campo en junio del 2013.

Tabla I. Censo de lámparas de Santiago Nonualco

| Tipo de Tecnología | Potencia Nominal (w) | Cantidad Estimada (DELSUR) | Censo realizado por estudiantes UCA en junio de 2013 |
|-------------------------------|----------------------|----------------------------|--|
| Lámpara de vapor de mercurio | 175 | 312 | 258 |
| Lámpara de vapor de sodio | 250 | 0 | 0 |
| Lámpara Fluorescente compacta | 105 | 0 | 7 |
| Lámpara Fluorescente compacta | 80 | 0 | 7 |
| Lámpara Fluorescente compacta | 65 | 179 | 230 |
| Lámpara Fluorescente compacta | 55 | 0 | 6 |

| Tipo de Tecnología | Potencia Nominal (w) | Cantidad Estimada (DELSUR) | Censo realizado por estudiantes UCA en junio de 2013 |
|-------------------------------|----------------------|----------------------------|--|
| Lámpara Fluorescente compacta | 20 | 0 | 7 |
| Lámpara Incandescentes | 60 | 6 | 0 |
| Total | | 497 | 515 |

Tabla II. Censo de lámparas de San Luis La Herradura

| Tipo de Tecnología | Potencia Nominal (w) | Cantidad Estimada (DELSUR) | Censo realizado por estudiantes UCA en junio de 2013 |
|-------------------------------|----------------------|----------------------------|--|
| Lámpara de vapor de mercurio | 175 | 189 | 106 |
| Lámpara de vapor de sodio | 250 | 13 | 26 |
| Lámpara Fluorescente compacta | 65 | 185 | 474 |
| Lámpara Fluorescente compacta | 55 | 292 | 109 |
| Lámpara Fluorescente compacta | 20 | 0 | 5 |
| Total | | 679 | 720 |



En ambas tablas se puede observar el incremento de la lámpara fluorescente compacta de mercurio de 65 W sobre los demás tipos de tecnologías, además si se comparan los valores obtenidos por DELSUR en 2012 y los valores obtenidos por los alumnos UCA en junio de 2013, existe una diferencia a pesar de que el tiempo transcurrido respecto de un censo del otro es muy cercano.

B. Medición de niveles de tensión y corriente en las luminarias.

En las siguientes tablas se muestran los datos de tensiones y corriente de algunos tipos de tecnologías, estas mediciones se hicieron en el casco urbano de cada municipio, en los puntos de alimentación de las luminarias. Los niveles de tensión se compararán con la norma de SIGET 192-E-2004 (Fig. 12)

Tabla III. Mediciones de tensión y corriente hechas en Santiago Nonualco.

| Tipo de lámpara | Voltaje (V) | Corriente (A) |
|-----------------------------------|-------------|---------------|
| Lámpara Fluorescente compacta 65W | 237.1 | 0.3 |
| Lámpara de vapor de mercurio 175W | 232.3 | 1.3 |
| Lámpara Fluorescente compacta 65W | 249.4 | 0.2 |
| Lámpara de vapor de mercurio 175W | 242.1 | 1.3 |
| Lámpara de vapor de mercurio 175W | 240.2 | 1.3 |
| Lámpara Fluorescente compacta 65W | 242.0 | 0.3 |
| Lámpara de vapor de mercurio 175W | 250.1 | 1.3 |
| Lámpara Fluorescente compacta 65W | 236.4 | 0.3 |

Tabla IV. Mediciones de tensión máxima, mínima y porcentaje permitido (en Santiago Nonualco)

| Voltaje Máximo | Voltaje Medido | Voltaje Norma |
|----------------|----------------|---------------|
| 250.1 V | 4.03 % | ±8 % |
| Voltaje Mínimo | Voltaje Medido | Voltaje Norma |
| 232.3 V | -3.31 % | ±8 % |

Tabla V. Mediciones de tensión y corriente hechas en San Luis La Herradura.

| Tipo de lámpara | Voltaje (V) | Corriente (A) |
|-----------------------------------|-------------|---------------|
| Lámpara de vapor de mercurio 175W | 225.3 | 1.2 |
| Lámpara Fluorescente compacta 65W | 231.8 | 0.23 |
| Lámpara de vapor de mercurio 175W | 232.5 | 1.56 |
| Lámpara Fluorescente compacta 65W | 227.6 | 0.3 |
| Lámpara Fluorescente compacta 55W | 234.4 | 0.25 |
| Lámpara Fluorescente compacta 65W | 236.3 | 0.22 |

Tabla VI. Mediciones de tensión máxima, mínima y porcentaje permitido (en San Luis La Herradura)

| Voltaje Máximo | Voltaje Máximo Medido | Voltaje norma |
|----------------|-----------------------|---------------|
| 236.3 V | -1.56 % | ±8 % |
| Voltaje Mínimo | Voltaje Mínimo Medido | Voltaje Norma |
| 225.3 V | -6.52 % | ±8 % |

Luego de comparar estos datos Máximo y Mínimo de las tablas anteriores con los de la norma SIGET 192-E-2004 art. 23 (Tabla XII), se observa que los valores de tensión de ambos municipios están dentro del límite establecido, por lo tanto, la distribuidora está brindando buen servicio.

C. Medición de niveles de iluminación.

En las siguientes tablas se muestran los valores de lux promedio en tres puntos tomando como referencia la superficie del suelo y la altura promedio de la luminaria a 6 m, estos datos fueron tomados en la calle principal que conduce al muelle del municipio de San Luis La Herradura y para el caso de Santiago Nonualco en la Avenida El Progreso, Avenida Anastasio Aquino y Calle Dr. Hermógenes Alvarado.

Tabla VII. Valores de iluminancia promedio medidos por tecnología en el casco urbano de Santiago Nonualco.

| Zona | Tipo de lámpara | Actual (Lux) | | |
|--------------|-----------------|--------------|---------|---------------|
| | | Acera Poste | Calzada | Acera Opuesta |
| Casco Urbano | LFC 80W | 10 | 7 | 4 |
| Casco Urbano | LFC 65W | 8.9 | 6.14 | 3.3 |
| Casco Urbano | LFC 55W | 8 | 6 | 3 |
| Casco Urbano | LVM 175W | 9.1 | 7.4 | 4.4 |

Para Santiago Nonualco, apoyándose en la Norma oficial Mexicana NOM 2005 (Fig. 14) y Road Lighting Desing Manual 2010 (Fig. 15), podemos observar que para el caso de la acera poste los valores de lux de cada tecnología cumplen con los requisitos establecidos.

Ahora bien para el caso de la calzada, de igual forma satisfacen con los valores de lux sugeridos. Sin embargo los valores de acera

opuesta no cumplen con las cantidades de lux establecidos, esto se debe probablemente a que en algunos tramos de las calles y avenidas utilizadas para la recopilación de los datos de iluminancia, solo se colocan luminarias de un solo lado en la acera derecha o en la izquierda de la calzada.

Tabla VIII. Valores de iluminancia promedio medidos por tecnología en el casco urbano de San Luis La Herradura

| Zona | Tipo de lámpara | Iluminación | | |
|--------------|-----------------|--------------|---------|---------------|
| | | Actual (Lux) | | |
| | | Acera Poste | Calzada | Acera Opuesta |
| Casco Urbano | LFC 65W | 7.8 | 4 | 1.4 |
| Casco Urbano | LFC 55W | 4.7 | 3 | 2 |
| Casco Urbano | LVM 175W | 8 | 7.3 | 5.3 |

Apoyándonos en la Norma oficial Mexicana NOM 2005 (Fig. 14) y Road Lighting Desing Manual 2010 (Fig. 15), podemos observar que para el caso de la acera poste los valores de lux de cada tecnología cumplen con los requisitos mínimos establecidos. Ahora bien para el caso de la calzada, el resultado es diferente puesto que los lux medidos de cada tecnología exceptuando la de vapor de mercurio, están por debajo de los límites sugeridos. De igual manera que los valores de lux para calzada, los valores de lux para acera opuesta de cada tecnología, exceptuando la de vapor de mercurio, se encuentran en valores inferiores a los establecidos por las normas antes mencionadas. Al igual que en el municipio de Santiago Nonualco, el bajo nivel de iluminación en la acera opuesta generado por las lámparas fluorescentes compactas se podría deber a que solo se colocan luminarias, o bien al lado derecho o izquierdo de la calle principal.



D. Curvas de Isolux de las luminarias de Santiago Nonualco y San Luis La Herradura.

A continuación se mostraran las curvas de isolux de los diferentes tipos de tecnologías construidas con los datos de iluminancia adquiridos con la metodología mostrada e ilustrada en la fig. 16.

Fig. 17 Curva de Isolux para la LFC de 55 W.

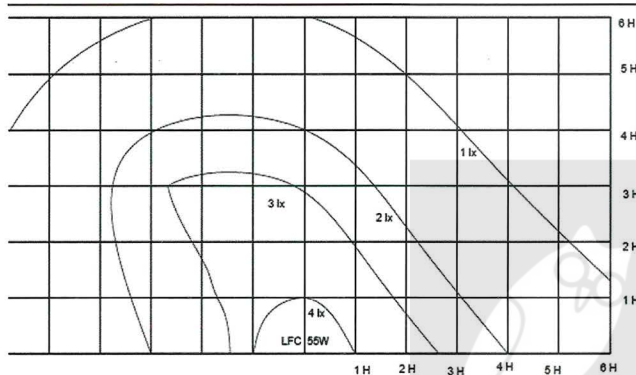


Fig. 18 Curva de Isolux para la LFC de 65 W.

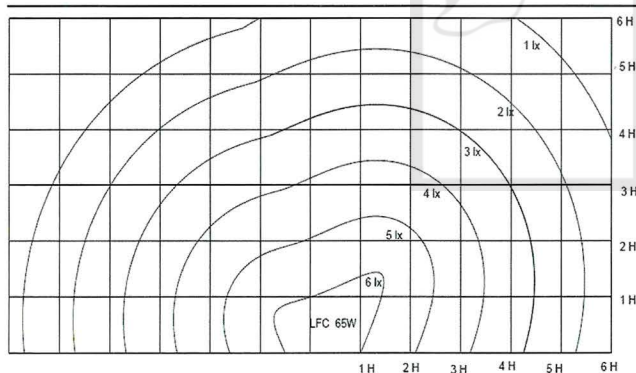


Fig. 19 Curva de Isolux para la LFC de 80 W.

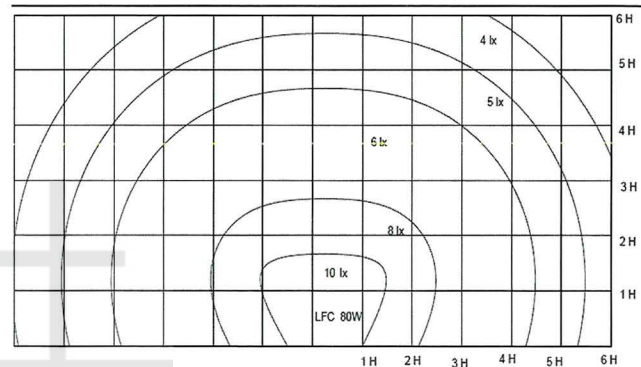
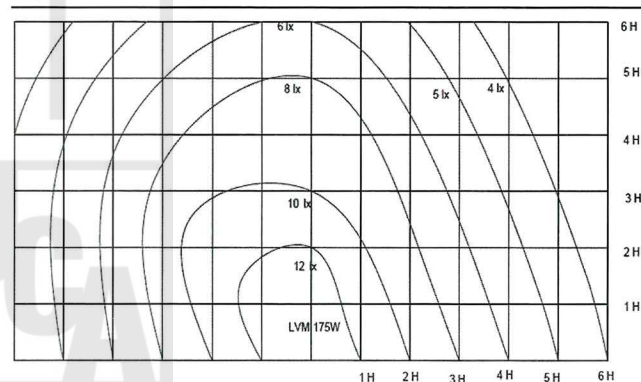


Fig. 20 Curva de Isolux para la LVM de 175 W.



En la Fig. 17 se muestra que la LFC de 55 W no da un buen nivel de intensidad luminosa puesto que a una distancia de 6H (6 m) que es la correspondiente a la acera opuesta, prácticamente su iluminancia ya es de 1 lx lo que significa que la iluminancia en ese punto es muy baja. En la Fig. 18 de igual forma, se muestra que la LFC de 65 W tiene un

comportamiento parecido al de la LFC de 55 W, en donde sus niveles de iluminancia son muy bajos en los puntos correspondientes a la acera opuesta.

Luego tenemos la curva de la LFC de 80 W en la Fig. 19, en ella podemos observar que presenta una mejora respecto a las lámparas anteriores, esta da un buen nivel de iluminancia en la acera poste y en la acera opuesta.

La Fig. 20 muestra la curva de la LVM de 175 W, quien también presenta un buen desempeño de iluminancia en los puntos de acera poste y acera opuesta respectivamente.

Con lo observado en cada una de las curvas de isolux, podemos recomendar con toda seguridad que si se desea utilizar lámparas fluorescentes compactas se debe sustituir a la LFC de 55 y 65 W por una de 80 W, aunque esta tecnología no sea para uso de alumbrado público.

E. Estudio económico de la facturación actual de alumbrado público.

En la Tabla IX se detalla el cobro de una factura emitida por la empresa distribuidora (DELSUR) en el mes de diciembre del 2012 del municipio de San Luis La herradura. Realizando los cálculos mencionados anteriormente nos resulta un total aproximado de \$5,088.25.

En la Tabla X se realizan los cálculos utilizando la misma tarifa de DELSUR de la tabla IX.

Tabla IX. Aproximación de costos por energía y distribución según censo delsur, en diciembre de 2012, San Luis La Herradura.

| Tipo de luminaria | Energía en KWh al mes | Cantidad de luminarias DELSUR diciembre 2012 | Costo de energía en \$/KWh | Costo distribución en \$/KWh | Total cargo por energía en \$ | Total cargo por distribución y por energía en \$ | |
|--|-----------------------|--|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|------------|
| LVM 175W | 63.4 | 189 | 0.162465 | 0.050574 | \$1,946.75 | \$606.01 | |
| LVS 250 W | 88 | 13 | 0.162465 | 0.050574 | \$185.859960 | \$57.86 | |
| LFC 55W | 15.9 | 292 | 0.162465 | 0.050574 | \$754.292502 | \$234.80 | |
| LFC 65W | 18.2 | 185 | 0.162465 | 0.050574 | \$547.019655 | \$170.28 | |
| | | | | | \$3,433.93 | \$1,068.95 | |
| Total con IVA incluido DELSUR diciembre 2012 | | | | | \$3,880.34 | \$1,207.92 | \$5,088.25 |

Tabla X. Aproximación de costos por energía y distribución según censo UCA, 2013, San Luis La Herradura.

| Tipo de luminaria | Energía en KWh al mes | Censo realizado en junio 2013 | Costo de energía IVA incluido \$/KWh | Costo distribución IVA incluido \$/KWh | Total cargo por energía \$ | Total cargo por distribución \$ | |
|------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|----------------------------|---------------------------------|------------|
| LVM 175W | 63.4 | 106 | 0.164695 | 0.050574 | \$1,106.82 | \$339.88 | |
| LVS 250 W | 88 | 26 | 0.164695 | 0.050574 | \$376.82 | \$115.71 | |
| LFC 65W | 18.2 | 474 | 0.164695 | 0.050574 | \$1,420.79 | \$436.29 | |
| LFC 55W | 15.9 | 109 | 0.164695 | 0.050574 | \$285.43 | \$87.65 | |
| LFC 20W | 6.1 | 5 | 0.164695 | 0.050574 | \$5.02 | \$1.54 | |
| | | | | | \$3,194.89 | \$981.07 | Total |
| Total con IVA incluido | | | | | \$3,610.22 | \$1,108.61 | \$4,718.84 |



Realizando los cálculos anteriormente mencionados nos da un total aproximado de \$ 4718.84 mensual. Con este dato la alcaldía de San Luis La Herradura estaría generando un ahorro de \$369.32 mensual.

En la Tabla XI muestra el consumo anual del alumbrado público de San Luis La Herradura 232,785.60 KWh, dicho consumo representa una facturación aproximada de energía eléctrica anual de \$ 50,111.52, recalcando que solo ha sido tomado en cuenta el costo por energía y por distribución.

Tabla XI. Consumo anual de KWh y costo anual de energía en San Luis La Herradura

| Consumo Anual en KWh | Costo Anual por Energía y Distribución en \$ |
|----------------------|--|
| 232,785.60 | \$50,111.52 |

En la Tabla XII se detalla el cobro de una factura emitida por la empresa distribuidora (DELSUR) en el mes de diciembre del 2012 del municipio de Santiago Nonualco. Realizando los cálculos mencionados anteriormente nos resulta un total aproximado de \$5,479.93.

Tabla XII. Aproximación de costos por energía y distribución según censo delsur en diciembre 2012, Santiago Nonualco.

| Tipo de luminaria | Energía en KWh al mes | Cantidad de luminarias según DELSUR 2012 | Costo de energía \$/KWh | Costo distribución \$/KWh | Total cargo por energía \$ | Total cargo por distribución \$ | | |
|-------------------|-----------------------|--|-------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------|------------|
| LVM175W | 63.4 | 312 | 0.158613 | 0.050574 | \$3,137.49 | \$1,000.39 | | |
| LI 60 W | 24 | 6 | 0.158613 | 0.050574 | \$22.84 | \$7.28 | | |
| LFC 65W | 18.2 | 179 | 0.158613 | 0.050574 | \$316.73 | \$164.76 | | |
| | | | | | \$3,677.06 | \$1,172.44 | | |
| | | | | | Total con IVA | \$4,155.08 | \$1,324.85 | \$5,479.93 |

Tabla XIII. Aproximación de costos por energía y distribución según censo UCA en junio 2013, Santiago Nonualco.

| Tipo de luminaria | Energía en KWh al mes | Cantidad de luminarias según censo UCA 2013 | Costo de energía abril 2013 | Costo distribución abril 2013 | Total cargo por energía | Total cargo por distribución | | |
|-------------------|-----------------------|---|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------|------------|
| LVM175W | 63.4 | 258 | 0.164695 | 0.050574 | \$2,693.95 | \$827.25 | | |
| LFC105 W | 29.106 | 7 | 0.164695 | 0.050574 | \$33.56 | \$10.30 | | |
| LFC 80 W | 25.92 | 7 | 0.164695 | 0.050574 | \$29.88 | \$9.18 | | |
| LFC 65W | 18.2 | 230 | 0.164695 | 0.050574 | \$689.41 | \$211.70 | | |
| LFC 55W | 13.9 | 6 | 0.164695 | 0.050574 | \$15.71 | \$4.82 | | |
| LFC 20W | 6.1 | 7 | 0.164695 | 0.050574 | \$7.03 | \$2.16 | | |
| | | | | | \$3,469.54 | \$1,065.42 | | |
| | | | | | Total con IVA | \$3,920.59 | \$1,203.92 | \$5,124.51 |

En la Tabla XIII se puede observar que el total a pagar por la alcaldía de Santiago Nonualco es de \$5,124.51 mensual. Con esto la Alcaldía se ahorraría \$355.43 mensual.

Como podemos apreciar en la Tabla XIV el alumbrado público de Santiago Nonualco genera un consumo anual de 252,797.78 KWh, lo que representa una facturación aproximada de energía eléctrica anual de \$ 252,798.

Tabla XIV. Consumo anual de KWh y costo anual de energía en Santiago Nonualco.

| Consumo Anual en KWh | Costo Anual por Energía y Distribución en \$ |
|----------------------|--|
| 252,797.78 | \$252,798.00 |

En la Tabla XV se presenta la inversión que se generaría al hacer un reemplazo total de las luminarias LED en el municipio de San Luis La Herradura:

Tabla XV. Reemplazo total de luminarias LED en San Luis La Herradura

| Reemplazo total de luminarias | Cantidad total de luminarias según censo UCA 2013 | Precio aproximado Luminaria LED | Inversión Aproximada |
|-------------------------------|---|---------------------------------|----------------------|
| Street View 60W | 720 | \$675 | \$486,000.00 |

Para las siguientes tablas se utilizan las mismas tarifas vigentes de las tablas anteriores.

Tabla XVI. Costos de la inversión total de las luminarias LED en San Luis La Herradura.

| Total costo de energía y distribución según DELSUR 2012 | Total costo de energía y distribución Nueva Tecnología | Ahorro anual realizando cambio total luminarias | Retorno de la inversión (años) |
|---|--|---|--------------------------------|
| \$5,088.25 | \$3,783.09 | \$15,661.92 | 31 |

Al realizar el cambio total de las luminarias se estaría generando un ahorro anual en la facturación de \$15,661.92, con dicho ahorro se estaría compensando la inversión hecha que se muestra en la tabla 4.8 dicha inversión estaría saldada en 31 años abonando el costo del ahorro de la nueva facturación.

En la Tabla XVIII se muestra el cálculo sobre el reemplazo parcial de las luminarias LED en el casco urbano de San Luis La Herradura, el cual está definido por el tramo de la alcaldía hacia el muelle.

Tabla XVIII. Reemplazo parcial de luminarias LED (casco urbano en San Luis La Herradura)

| Reemplazo parcial de luminarias (casco Urbano) | Cantidad parcial (casco Urbano) luminarias según censo UCA 2013 | Precio Luminaria LED | Inversión aproximada (casco Urbano) |
|--|---|----------------------|-------------------------------------|
| Street View 60W | 104 | \$675.00 | \$70,200.00 |

Al realizar el reemplazo parcial de luminarias se aproxima una inversión de \$70,200 cabe mencionar que el resto de luminarias se recomienda dejar las fluorescentes compactas de 65 watts ya que es la mayor cantidad que existe actualmente en este municipio.

Tabla XIX. Costos de la inversión parcial en el casco urbano de las luminarias LED

| Total costo de energía y distribución según DELSUR 2012 | Total costo de energía y distribución Nueva Tecnología | Ahorro anual realizando cambio parcial luminarias | Retorno de la inversión (años) |
|---|--|---|--------------------------------|
| \$5,088.25 | \$2,897.00 | \$26,295.00 | 3 |

La Tabla XIX nos muestra el ahorro anual en la facturación realizando un cambio parcial este es de \$26,295. Estudiando la facturación según DELSUR en diciembre 2012, el retorno de la inversión realizada sería de tres años aproximadamente.



En la Tabla XX se presenta la inversión que se generaría al hacer un reemplazo total de las luminarias LED en el municipio de Santiago Nonualco:

Tabla XX. Reemplazo total de luminarias LED en Santiago Nonualco.

| Reemplazo total de luminarias | Cantidad total de luminarias según censo UCA 2013 | Precio Luminaria LED | Inversión aproximada | Retorno de la inversión (años) |
|-------------------------------|---|----------------------|----------------------|--------------------------------|
| Street View 60W | 515 | \$675 | \$347,625.00 | 11 |

Tabla XXI. Costos de la inversión total de las luminarias LED en Santiago Nonualco.

| Total costo de energía y distribución según censo UCA 2013 | Total costo de energía y distribución Nueva Tecnología | Ahorro anual realizando cambio total luminarias |
|--|--|---|
| \$5,124.51 | \$2,480.46 | \$31,728.60 |

Al realizar el cambio total de las luminarias se estaría generando un ahorro anual en la facturación de \$31,728.60, con dicho ahorro se estaría compensando la inversión hecha que se muestra en la Tabla XXI, dicha inversión estaría saldada en 11 años abonando el costo del ahorro de la nueva facturación.

En la Tabla XXII, se muestra el cálculo sobre el reemplazo parcial de las luminarias LED en el casco urbano de Santiago Nonualco, el cual está definido por la Avenida Alfredo Espino, Avenida El Progreso, Avenida Alberto Masferrer, Avenida Anastasio Aquino, Avenida Santiago José Selí, Avenida México, Calle Manuel Enrique Araujo, Reparto San Agustín,

Calle José Matías Delgado, Calle Doctor Hermogenes Alvarado, Reparto San Juan, Calle Gerardo Barrios, Calle Francisco Morazán, Calle José Simeón Cañas, Calle Francisco Gavidia, Colonia Las Brisas.

Tabla XXII. Reemplazo parcial de luminarias en Santiago Nonualco.

| Reemplazo parcial de luminarias (Casco Urbano) | Cantidad parcial (casco Urbano) luminarias según censo UCA 2013 | Precio Luminaria LED | Inversión aproximada (casco Urbano) |
|--|---|----------------------|-------------------------------------|
| Street View 60W | 188 | \$675.00 | \$126,900.00 |

La Tabla XXIII, nos muestra el ahorro anual en la facturación realizando un cambio parcial este es de \$36,504.48. Estudiando la facturación según DELSUR en diciembre 2012, el retorno de la inversión realizada sería de tres años aproximadamente.

Tabla XXIII. Costos de la inversión parcial en el casco urbano de las luminarias LED en Santiago Nonualco.

| Total costo de energía y distribución según censo UCA 2013 | Total costo de energía y distribución Nueva Tecnología | Ahorro anual realizando cambio parcial luminarias | Retorno de la inversión (años) |
|--|--|---|--------------------------------|
| \$5,124.51 | \$2,082.47 | \$36,504.48 | 3 |

F. Discusiones

Se comprobó que por medio de este estudio se logra encontrar las deficiencias de una instalación de alumbrado público. Mediante el censo podemos actualizar nuestra base de datos respecto a las tecnologías presente y así estimar un costo de facturación, con el estudio de variables como voltaje, corriente y nivel de iluminación comprobamos la calidad lumínica de la instalación de alumbrado público. Ahora bien

mediante el análisis económico se establece un estimado del costo de la dicha instalación, teniendo la opción de generar un ahorro o utilizar ese recurso económico para la compra de nuevas tecnologías que sean más eficientes.

IV. CONCLUSIONES

La auditoría energética en el alumbrado público de las alcaldías además de identificar el estado actual de las luminarias, permitió calificar calidad y eficiencia en el servicio de alumbrado público. Al controlar estos factores se puede disminuir el consumo de energía y por lo tanto reducir costos en la facturación y mantenimiento.

Realizando periódicamente los censos se puede llevar un control de: estado, tipo y cantidad de luminarias instaladas; de esta forma se tiene un inventario y se puede visualizar más claramente el desembolso de dinero direccionado al sostenimiento del alumbrado público en las alcaldías.

Haciendo los cambios a luminarias de tecnología LED en su totalidad, en el municipio de Santiago Nonualco se reduciría la facturación mensual por alumbrado público a \$2,644.05, con una inversión de \$347,625 a recuperarse en once años. Si solo se cambian las luminarias del casco urbano la inversión se reduce a un valor de \$126,900 y se recupera en tres años.

Al realizar un cambio de luminarias total por tecnología LED en el municipio de San Luis La Herradura, la facturación mensual por alumbrado público sería de \$1,305.16, con una inversión de \$486,000 con un retorno de inversión de aproximadamente treinta años. De pretender cambiar solamente las luminarias en el casco urbano, la inversión sería de \$70,200 con un retorno de inversión de tres años.

Un alumbrado público eficiente y de buena calidad implica un menor consumo de energía, que se ve reflejado en la reducción de costos de facturación y mantenimiento.

V. REFERENCIA

- [1]. 2012. Auditoría Energética. [Online]. Revisado el 11 de mayo de 2013 de <http://www.creaa.es/auditoria-energetica.htm>.
- [2]. CNE, Alumbrado Público. [Online]. Revisado el 11 de mayo de 2013 de http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=29:eap&Itemid=63.
- [3]. ¿Qué es la Luz? [Online]. Revisado el 19 de mayo de 2013 de <http://www.tareasya.com.mx/index.php/tareas-ya/primaria/cuarto-grado/ciencias-naturales/974-%C2%BFQu%C3%A9-es-la-luz?.html>.
- [4]. El espectro visible de la Luz. [Online]. Revisado el 23 de mayo de 2013 de <http://www.ojocientifico.com/2011/10/02/el-espectro-visible-de-luz>.
- [5]. El Flujo Luminoso. [Online]. Revisado el 29 de mayo de 2013 de http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/opteca/OPTOPDF1_archivos/UNIDAD1TEMA2.PDF.
- [6]. Obralux, Luminotecnia. [Online]. Revisado el 29 de mayo de 2013 de <http://www.obralux.com/pdf/luminotecnia.pdf>.
- [7]. Recomendaciones Básicas sobre Iluminación. [Online]. Revisado el 28 de mayo de 2013 de <http://www.icv.csic.es/prevencion/Documentos/breves/FREMAP/iluminacion.pdf>.
- [8]. ERCO, Light Scout. [Online]. Revisado el 30 de mayo de 2013 de <http://www.ercoc.com/guide/lighting-technology-94/luminance-1840/es/intro-1.php>.
- [9]. Elisa colombo y Beatriz O'Donel, Luz, color y visión. [Online]. Revisado el 2 de junio de 2013 de <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap02.pdf>.
- [10]. VP Ingenieros, índice de reproducción cromática. [Online]. Revisado el 3 de junio de 2013 de <http://www.vpingenieros.es/irc.html>.
- [11]. Universidad Politécnica de Catalunya, Lámparas y luminarias. [Online]. Revisado el 6 de junio de 2013 de <http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/index.html>.



- [12].Universidad Nacional de Colombia, Alumbrado Público exterior, Guía didáctica para el buen uso de la energía. [Online]. Revisada el 6 de junio de 2013 de http://www.upme.gov.co/Docs/Alumbrado_Publico.pdf.
- [13].UNIVERSALITE, Inducción Magnética. [Online]. Revisado el 7 de junio de 2013 de <http://www.universelite.com.mx/inducccion.html>.
- [14].Árbol de Noticias, Iluminación LED. Concepto y Características. [Online]. Revisado el 7 de junio de 2013 de <http://www.arboldenoticias.com/content/view/3868/48/>.
- [15].2005. Norma Oficial Mexicana

