



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Programa Único de Especializaciones en Ingeniería

ESPECIALIDAD: AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA SUSTITUCIÓN DEL
ALUMBRADO PÚBLICO: CASO AVENIDA CHALCO ESTADO DE MÉXICO.**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO EN ESPECIALISTA EN
AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA

PRESENTA:

ALBERTO DE JESÚS ROCHA CALDERÓN.

DIRECTORA DE TESINA:

DRA. ESCOBEDO IZQUIERDO MANUELA AZUCENA

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F. ABRIL DE 2015

Índice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

Objetivo
Planteamiento del problema
Hipótesis

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

- 1.1 Fuentes luminosas.
- 1.2 Balastro
- 1.3 Luminario
- 1.4 Tabla comparativa

CAPÍTULO II. ANÁLISIS ENERGÉTICO

- 2.1 Descripción de caso de estudio
- 2.2 Análisis Energético del caso de estudio
 - 2.2.1 Conclusiones
- 2.3 Propuestas
 - 2.3.1 Aditivos metálicos cerámicos
 - 2.3.2 Inducción magnética
 - 2.3.3 LED

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE LA NOM-013-ENER-2013

- 3.1 Determinación de DPEA
- 3.2 Iluminancia mínima Promedio
- 3.3 Uniformidad promedio máximo
- 3.4 Resumen

CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 Costo por tecnología

4.2 Costo por Consumo Eléctrico

4.3 Análisis técnicos y económicos de los resultados

4.3.1 Lámpara

4.3.2 Balastro

4.3.3 Luminario

4.3.4 Sistema de iluminación

4.3.5 Costo anual equivalente (CAE)

4.3.6 Ahorro anual en consumo eléctrico

4.3.7 Ahorro anual en costos totales

4.3.8 Costo nivelado de energía ahorrada (CEA)

4.3.9 Recuperación de inversión inicial incremental (PSR)

Conclusiones

Anexos

Bibliografía

Introducción

Existen bastantes sectores que consumen grandes cantidades de energía eléctrica, sin embargo, el caso del alumbrado público fue la temática de la presente tesina, por las posibilidades de ahorro que ofrece ya que muchas veces son pasadas por alto, más aun en las comunidades alejadas de los estados que tienen mayor consumo por las distintas actividades económicas que se llevan a cabo en las mismas.

De acuerdo a la CONUEE a nivel mundial, la iluminación representa aproximadamente el 15% del consumo total de energía eléctrica. Se estima que en México el consumo energético por iluminación representa aproximadamente el 18% del consumo total de energía eléctrica.[1].

El Estado de México es el mayor consumidor de Energía Eléctrica por tener un uso de más de 350,000 luminarias. Específicamente Valle de Chalco un municipio que aun siendo de reciente creación, forma parte importante del Estado y en cuanto a la materia de electrificación se ha conseguido que del total de viviendas urbanizadas reportadas en el Censo del INEGI de 2010 88272 de ellas; es decir el 98.57% cuenta con el servicio de energía eléctrica [2].

Valle de Chalco colinda una de las autopistas más transitadas en el Estado de México, la autopista "México-Puebla", una de sus avenidas principales es la "Avenida Solidaridad", lugar en el que muchos medios de transporte transitan debido a su destino, Chalco Centro, mismo que por el crecimiento demográfico ha crecido industrialmente, es decir la Avenida Solidaridad es altamente transitada. Valle de Chalco es un municipio con problemas de inseguridad principalmente en las noches debido a las instalaciones del Alumbrado Público. Se tienen las siguientes condiciones de la Avenida: La iluminación tiene una disposición de luminarias bilateral con centros opuestos, un poste tipo látigo con 9.06 [m] de largo, distancias interpostales de 26.5 [m], 13.7 [m] de ancho y una longitud de 1.3 [km]. La tecnología presente con un luminario HOV-25 Holophane, lámpara de sodio de alta presión de 200 [W] con base E39 Sylvania Unalux, y balastro electromagnético Sylvania. Por otra parte la situación de las instalaciones es deplorable, pues se tienen presente 93 postes de los cuales solo funcionan correctamente 47.

Por la situación descrita anteriormente principalmente la parte tecnológica, se realizó el siguiente análisis con la finalidad de proponer 3 posibles soluciones para el ahorro de energía eléctrica en el sector de Alumbrado Público. Las soluciones consisten en la sustitución de la tecnología por una más eficiente, las cuales fueron evaluadas por la NOM-013-2013, y normas relacionadas con cada tecnología, que va desde la Luminaria, la Lámpara y el Balastro.

La primera propuesta es una tecnología de Aditivos Metálicos Cerámicos de 150[W] Philips, conservando la misma luminaria del caso base HOV-25, casquillo E40, con balastro electromagnético para lámpara de Aditivos metálicos cerámicos Philips. La segunda propuesta es una lámpara de Inducción de 150[W] Havells, luminario Accent Roadway Havells, con su respectivo generador electrónico. Finalmente la Lámpara de LED de 150[W] GR-SLQ-150NR-N incluye el luminario.

En el caso de estudio se utilizó un el luxómetro previamente calibrado y certificado, instrumento que sirve para determinar el flujo luminoso respecto al área que incide, valor necesario para evaluar su estado con lo mínimo necesario de acuerdo a la NOM-013-2013. En el caso de las propuestas fue necesario utilizar el software Dialux versión 4.11 para obtener parámetros confiables y así hacer uso de la Norma con la finalidad de llegar a la propuesta más indicada para las necesidades de la avenida mencionada anteriormente.

Se realizó una evaluación económica después de que cada propuesta cumpliera perfectamente los valores mínimos de la Norma, los cuales ayudaron a definir de manera más precisa la más conveniente, en esta evaluación se consideró la inversión inicial de cada propuesta y el ahorro en el consumo eléctrico respecto al caso base. El periodo simple de recuperación de la tecnología Aditivos metálicos fue de 1.39 años, la de inducción magnética de 4.95 años y la de LED de 9.93 años. Por lo que la primera propuesta es la más adecuada ya que cumple perfectamente la Norma y tiene un periodo de recuperación menor. Con esta información se pretende sugerir la propuesta al Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal.

Objetivo

Proponer una sustitución tecnológica en el Servicio de Alumbrado Público, en la avenida Solidaridad ubicada en el Municipio de Valle de Chalco.

Planteamiento del problema

El consumo de la energía están ligados en el área industrial, el consumo doméstico y el transporte, además que casi la mitad del consumo de los recursos primarios están destinados a la generación de energía eléctrica, los cuales uno de sus tantos fines va dirigido a servicios que actualmente son proporcionados a la población en general, como el servicio de electrificación, drenaje, agua potable, alumbrado público, etc. mismos que requieren del uso de la energía eléctrica. El caso de estudio de la siguiente tesina está referido al servicio del “Alumbrado Público”.

La CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) menciona que a nivel mundial, la iluminación representa aproximadamente el 15% del consumo total de energía eléctrica. Se estima que en México el consumo energético por iluminación representa aproximadamente el 18% del consumo total de energía eléctrica. Entre 1997 y 2007 el consumo de electricidad para iluminación creció a un ritmo del 3.9% anual y se espera que continúe creciendo. El alto consumo de energía por iluminación se debe principalmente a una alta utilización de focos de baja eficiencia [3].

Se estima que el Estado de México es el mayor consumidor de Energía Eléctrica al hacer uso de más de 350,000 luminarias. Valle de Chalco es un municipio que aun cuando es de reciente creación, forma parte importante del Estado y en cuanto a la materia de electrificación se ha conseguido que del total de viviendas urbanizadas reportadas en el Censo del INEGI de 2010 88272 de ellas; es decir el 98.57% cuenta con el servicio de energía eléctrica [4].

Valle de Chalco Solidaridad es un municipio del Estado de México, ubicado en el valle del antiguo lecho del lago de Chalco, que cuenta con 357,645 habitantes, lo cual representa el 2.4% de la población en el Estado de México, población que crece velozmente al ser zona periférica del Distrito Federal. También pertenece a la Zona Metropolitana del Valle de México conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal, 59 municipios del estado de México y 1 municipio del estado de Hidalgo, Tizayuca [5] .

Una nota reciente del portal de Quadratín (Una agencia Mexicana de información y análisis fundada desde el año 2012). Es una fuente de información confiable con un buen equipo de trabajo enfocado en las pequeñas comunidades. En aquella nota revela la situación que se vive actualmente en el Municipio de Chalco, los pobladores piden más atención por parte de las autoridades pro el incremento de la delincuencia en los últimos tiempos, más aun por las noches, y un factor primordial que da lugar a esta situación es la falta de un mejor sistema de alumbrado público. [6].

3 CONUEE Proyecto nacional de eficiencia energética en alumbrado público municipal

4 PDM Valle de Chalco Plan de Desarrollo Municipal Valle de Chalco

5 SEDESOL http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Informes_pobreza/2014/Municipios/Mexico/Mexico_025.pdf

6 portal Quadratín : <http://edomex.quadratín.com.mx/Piden-mejorar-seguridad-vecinos-de-colonias-de-Valle-de-Chalco/>

Además de la circulación peatonal diaria, este conjunto de puntos obliga a que se tenga una excelente iluminación Vial, tanto para la seguridad del tránsito que circula a diario como de las personas que hacen uso de ella, ya que la situación actual de la avenida es la disfuncionalidad del 50% del sistema a lo largo de toda la Avenida. Sin embargo a pesar de la necesidad de tener un buen servicio de Alumbrado Público en la avenida, se tienen muchos desperfectos, tanto técnicos como tecnológicos.

Por lo anterior, específicamente en las condiciones de las instalaciones, se realizó el siguiente análisis. Valle de Chalco Solidaridad es un municipio amplio por lo que se dispuso a realizar un estudio en una avenida altamente concurrida, la “Avenida Solidaridad”, es un paso de tránsito importante las 24 horas del día, con la siguiente clasificación vehicular: Categoría L: Vehículos automotores con menos de cuatro ruedas. (Motocicletas). Categoría M: Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de pasajeros. Categoría N: Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de mercancía. (Por centros comerciales y pequeñas industrias localizadas en el Centro de Chalco). [7].

La Avenida Solidaridad actualmente cuenta con lámparas de Sodio de Alta Presión de 200[W], con luminarias modelo HOV-25, y balastro electromagnético [8].

Cabe mencionar la existencia del Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal tiene como objetivo apoyar a los municipios de México para la sustitución de sus sistemas de iluminación de alumbrado público ineficientes. A través de este proyecto, BANOBRAS otorga apoyo económico para la ejecución de los proyectos municipales. La recuperación del financiamiento se obtendría a través de los ahorros generados por la disminución en el consumo de energía eléctrica. Adicionalmente, el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, puede apoyar a los municipios con el 15% o hasta 10 millones de pesos del monto de la inversión aprobada.

- Solicitud inicial, firmada por el Presidente Municipal.
- Carta de no adeudo a CFE
- Censo de alumbrado público del municipio
- Proyecto de sustitución con información de los sistemas actuales y propuestos (Características y costos)
- Localización de los sistemas de iluminación (Puntos de luz)
- Destino final de las luminarias remplazadas (reubicación o destrucción)
- Facturación y, en su caso, el Derecho de Alumbrado Público (DAP)

Finalmente para ser considerado en este proyecto la propuesta deberá ser aprobada por la CONUEE y BANOBRAS. En caso de ser rechazada, estas dos instituciones indicarán al municipio sus observaciones a fin de que una nueva propuesta pueda ser presentada. [9]

7. Reglamento nacional de vehículo 2013: <http://www.teleley.com/normas/octubre03/252946.pdf>

8 Información proporcionada por El Centro de Servicios Públicos Chalco.

9 Proyecto Nacional: <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=2617>

Hipótesis

En la presente tesina se plantea que podría realizarse una propuesta factible que satisfaga las necesidades del Municipio Valle de Chalco en el servicio de Alumbrado Público. Y que además de cubrir los requerimientos técnicos y tecnológicos de acuerdo a la Normativa vigente, se espera cumplir el perfil del Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal el cual apoya, técnica y financieramente, a todos los municipios de México para la sustitución de sus sistemas de iluminación de alumbrado público ineficientes por otros más eficientes.

CAPITULO I

Antecedentes

La CONUEE sugiere que los sistemas de alumbrado público deben ser diseñados para proporcionar el nivel de iluminación requerido por tipo de vialidad, es decir, considerando el tamaño de las calles y el flujo de tránsito, en cumplimiento con la normatividad vigente. Es muy importante considerar, además, la tarifa eléctrica, siendo la de alumbrado público la más alta. Por lo tanto, un sistema de iluminación eficiente, reducirá los costos por alumbrado público. [10].

Los tres parámetros que definen el consumo de los equipos de alumbrado público son: La potencia de la lámpara (watts), el tiempo de servicio del alumbrado público (horas), la tecnología del foco (vapor de sodio, LED, etc.). Por lo que estos tres factores se consideraron en la evaluación del caso base y las posibles tecnologías que lo podrán sustituir. Dado que el tiempo de servicio es un dato constante, es decir 12[hr] por día [10].

1.1 Fuentes luminosas

Para su uso en luminarias de alumbrado público en la actualidad, se tienen los siguientes tipos:

a) Incandescentes

Las lámparas incandescentes estándar pueden demandar potencias nominales que oscilan entre los 25 y 1,500 Watts, con tensiones eléctricas de 127 y 220 Volts, para producir flujos luminosos de 220 a 29,600 lúmenes. Las lámparas incandescentes con halógenos que se utilizan en los proyectores pueden demandar potencias que varían entre los 500 y 1,000 Watts para producir flujos de hasta 25,000 lúmenes. Se utilizan preferentemente en la iluminación de interiores (lámpara de 100 a 300 Watts), con alturas que no superen los 4 metros. [11].

b) HID (Alta intensidad de descarga) Vapor de mercurio de alta presión

Estas lámparas funcionan al aumentar la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible. En estas condiciones la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se acostumbra a añadir sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara.

10 Alumbrado Público CONUEE: http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/alumbrado_publico_1

11 Manual de Alumbrado público. Comisión Federal de Electricidad. Instituto de investigaciones eléctricas.

La temperatura de color se mueve entre 3500 y 4500 K con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible. Los modelos más habituales de estas lámparas tienen una tensión de encendido entre 150 y 180 Volts, que permite conectarlas a la red de 220 Volts sin necesidad de elementos auxiliares [12].

c) HID (Alta intensidad de descarga) Luz Mixta

Las lámparas de luz mixta son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y habitualmente, un recubrimiento fosforescente. El resultado de esta mezcla es la superposición, al espectro del mercurio, del espectro continuo característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia. Su eficacia se sitúa entre 20 y 60 lm/W y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color con un rendimiento en color de 60 y una temperatura de color de 3600 K.

La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa de fallo. Respecto a la depreciación del flujo hay que considerar dos causas. Por un lado tenemos el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del wolframio evaporado y por otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida media se sitúa en torno a las 6000 horas.

Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balasto ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente. Esto las hace adecuadas para sustituir las lámparas incandescentes sin necesidad de modificar las instalaciones [12].

d) HID (Alta intensidad de descarga) Aditivos metálicos

Se obtiene al añadir en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio, etc) se mejora considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro. Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3000 a 6000 K dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 65 y 85. La eficiencia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 lm/W y su vida media es de unas 10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas (1,500-5,000 Volts) [12].

e) Vapor de Sodio de baja presión

La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática característica formada por dos rayas en el espectro muy próximas entre sí. La radiación emitida, de color amarillo, está muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano. Con una eficacia entre 160-180 lm/W. Ofrece una gran comodidad y agudeza visual, además de una buena percepción de contrastes. Por contra, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos.

La vida media es de unas 15,000 horas y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6000 y 8000 horas. Esto junto a su alta eficiencia y las ventajas visuales que ofrece ya no la hacen adecuada para usos de alumbrado público, aunque también era utilizada con finalidades decorativas. En cuanto al final de su vida útil, este se produce por agotamiento de la sustancia emisora de electrones como ocurre en otras lámparas de descarga. Aunque también se puede producir por deterioro del tubo de descarga o de la ampolla exterior [13].

f) Vapor de sodio de alta presión

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. Con rendimiento en color 2100 K y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión (CRI de 25, aunque hay modelos de 65 y 80). No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda de los 100-140 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 20,000 horas y su vida útil entre 8,000 y 12,000 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 lámparas de Vapor de Sodio Alta Presión, son lámparas de descarga y requieren de un largo tiempo para un reencendido y alcanzar su máxima luminosidad después de una falla en el suministro. Para producir el encendido con vapor de sodio a alta presión se necesitan tensiones del orden de cuatro kilovolts, por lo que se utilizan reactancias (autotransformadores-elevadores). Bajo factor de potencia. El reencendido se produce en un minuto si se parte del estado caliente [13].

g) Inducción

El principio de generación de luz es similar de la fluorescencia convencionalmente, pero con la finalidad de conseguir la radiación ultravioleta, no a través de la descarga eléctrica, sino mediante un campo electromagnético con similares efectos al anterior sobre el átomo de mercurio. El sistema aparte de una fuente de alimentación electrónica que genera una radiación de alta frecuencia, del orden de 2,5 MHz La señal se transmite a la lámpara por un conductor blindado, existiendo en ella un solenoide que hace las veces de antena. Alrededor de ella se produce un campo que provoca fuertes choques atómicos de los gases interiores de la ampolla, que a su vez genera rayos ultravioleta.

Las ondas UV. no visibles actúan sobre las sales fluorescentes siendo el resultado la disminución de su frecuencia para convertirse en la radiación luminosa del espectro. Fuente y lámpara con su conexión forman un conjunto de utilización indivisible a renovar en su caso simultáneamente. El fabricante estima una vida útil de 60,000 horas.

El sistema está compuesto por 3 elementos, el generador (balastro), el foco y la bobina generadora de la descarga, el tiempo de precalentamiento requerido típicamente es de 4 horas de pre-calentamiento, el gas usado dentro de la lámpara es Argón y Aunque una muy pequeña cantidad de mercurio es usada, es recomendable tratar la lámpara como un desperdicio químico pequeño. La lámpara puede ser reciclada junto con otras lámparas de descarga como baja presión de mercurio [14].

h) LED

La estructura de los sistemas de iluminación LED es totalmente distinta a la de los sistemas de iluminación tradicional y se basa en la tecnología de la electrónica del estado sólido. Su nombre corresponde a la sigla de las palabras Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz). Un diodo es un dispositivo que permite que la corriente fluya sólo en una dirección. Dos materiales conductores forman un diodo al estar en contacto entre sí. Cuando la electricidad se transfiere a través del diodo, los átomos del material (dentro del chip semiconductor) se agitan a un nivel de energía superior. Los átomos en el primer material encierran mucho más energía que necesita ser liberada. Lo hace cuando los átomos traspasan los electrones al otro material de chip. Durante esta liberación de energía se crea luz. El color de la luz de los LED es resultado de los materiales y procesos que configuran el chip.

La gran mayoría de luminarias para alumbrado público con tecnología LED son diseños integrados, es decir se considera el equipamiento interno de la luminaria como uno sólo, a diferencia de las luminarias en base a lámparas descarga donde cada elemento es posible desmontarlo y reemplazarlo independientemente de los otros [14].

1.2 Balastro

Las lámparas de descarga se utilizan en combinación con diferentes tipos de balastos. Éstos pueden ser Electrónicos o Electromagnéticos. Bajo la categoría de balastos electromagnéticos se encuentran los de cobre-hierro tradicionales. Estos balastos deben combinarse con arrancadores y habitualmente con condensadores de corrección del factor de potencia.

El balastro electromagnético consiste básicamente de un núcleo de láminas de acero rodeadas por dos bobinas de cobre o aluminio. Este arreglo transforma potencia eléctrica en una forma apropiada para arrancar y regular la corriente en la lámpara fluorescente. El tercer componente principal de la mayoría de los balastos electromagnéticos es el capacitor. El capacitor en dichos balastos optimiza el factor de potencia, de tal forma que puede utilizar la energía de manera más eficiente. Los balastos electromagnéticos que están equipados con el capacitor son considerados balastos de alto factor de potencia.

El balastro electrónico está basado en una tecnología enteramente diferente a la del balastro electromagnético. Enciende y regula las lámparas fluorescentes en altas frecuencias, generalmente mayores a 20KHz., usando componentes electrónicos en vez del tradicional transformador. Un aspecto muy importante en la evolución que han tenido los balastos electrónicos dentro de los sistemas de iluminación fluorescente, son las ventajas que presentan con respecto a los balastos electromagnéticos tradicionales, tales como la eliminación del parpadeo de la lámpara en el encendido, el ruido audible, la habilidad para ajustar la salida de luz de la lámpara a casi cualquier nivel cuando es usado un control de intensidad luminosa. Aunque los balastos electromagnéticos presentan gran simplicidad y bajo costo, estos tienen que trabajar a frecuencia de red lo cual, trae como consecuencia un elevado peso y gran volumen así como bajo rendimiento. Comparado el balastro tradicional electromagnético con el electrónico, este puede proporcionar mayor rendimiento, control de la potencia de salida, larga vida a la lámpara y reducido volumen. [15].

1.3 Luminario

Es un aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas, (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación. De manera general consta de los siguientes elementos: Armadura o carcasa (es el elemento físico mínimo que sirve de soporte y delimita el volumen de la luminaria conteniendo todos sus elementos). Equipo eléctrico (Es el adecuado a los distintos tipos de fuentes de luz artificial). Reflectores (son determinadas superficies en el interior de la luminaria que modelan la forma y dirección del flujo de la lámpara). Difusores (elemento de cierre o recubrimiento de la luminaria en la dirección de la radiación luminosa). Filtros: (en posible combinación con los difusores sirven para potenciar o mitigar determinadas características de la radiación luminosa). [15].

1.4 Tabla comparativa

Para efectos de evaluar las ventajas y desventajas de la utilización de las lámparas de las tecnologías antes mencionadas en el alumbrado público de vialidades, a continuación se presenta en la Tabla 1. La comparativa entre sus principales características de rendimiento y operación.

Características de rendimiento y operación	Sodio de alta presión	Vapor de Aditivos Metálicos cerámicos	Inducción electromagnética	LED	Vapor de Mercurio	VAM Cerámicos	Vapor de Sodio B. Presión
Vida nominal (Horas)	24,000	7,500 a 20,000	100,000	50,000 a 100,000	Más de 24,000	7,500 a 15,000	18,000
Vida económica (Horas)	Al 80 % de la vida	Al 60% de la vida	Al 80 % de la vida	Al 60% de la vida	Al 60% de la vida	Al 90% de la vida	Al final de la vida
Rango de Potencias (Watts)	35 a 1,000	35 a 1,500	16 a 400	0.1 a 250	50 a 1,000	20 a 2,000	18 a 180
Tiempo de Encendido (Minutos)	3-5 minutos	5-7 minutos	Instantáneo	Instantáneo	5 7 minutos	2 minutos	15 minutos
Tiempo de reencendido (Minutos)	1 minuto	8-15 minutos	Instantáneo	Instantáneo	5- 15 minutos	2 – 4 minutos	70% instantáneo
Falla típica	Enciende y apaga intenso	No enciende o cambia de color	No enciende	No enciende o parpadea.	No enciende o muy tenue	No enciende	No enciende o tarda en encender
Índice de Rendimiento de Color (Ra)	21-65	60-88	80-90	65-90	15 – 45	65-95	----
Temperatura de color (°K)	1,900 - 2,200	2,500 – 5,000	3,500-4,100	2,700 – 5,700	3,000 – 6,700	3,000- 4,100	1,800
Mantenimiento de Lúmenes (1)	Bueno	De muy pobre a regular	Muy bueno.	Muy pobre	De pobre a regular	Regular	Excelente
Calor a disipar	37%	37%	42%	75% - 85%	----	-----	----
Eficacia Nominal (Lm/W)	45 a 150	75 a 125	66 a 88	80 a 100	22 a 63	60 a 96	100-183
Factor de Daño (Khr/Klx)	0.22	0.36	0.1	Nulo	0.34	0.15	0.25
Costo inicial	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Medio alto	Muy alto	Alto
Costo de Operación Anual	Bajo	Bajo regular.	Bajo	Bajo	Regular	Regular	Bajo
Aplicación idónea	Alumbrado Público, industrial pesada, carreteras	Comercial Industrial.	Industrial, alumbrado público y peatonal.	Señalización comercial exteriores.	Estación aamientos, jardines	Comercial industrial	Carreteras, zonas de nieblas
Aplicación no recomendable	Comercial, interiores.	Industrial pesado.	Residencial.	Ninguna.	Comercial	Industrial pesado	Comercial inferiores

Tabla1. Comparativa de tecnologías.

Fuente: Iluminación Eficiente en Alumbrado Público CONUEE,
Fuente: Ing. Alex Ramírez, AEI/TCL, Agosto 2008.

CAPITULO II

Análisis energético

2.1 Descripción del caso de estudio

Valle de Chalco Solidaridad es un municipio de 44.5 km² de superficie es uno de los municipios del Estado de México más grandes, por ello se propone realizar un estudio en la “Avenida Solidaridad”, la cual tiene una longitud de 1.3 km, es una vialidad que se usa para conectar el tránsito entre una vía principal: La Autopista México Puebla, con una secundaria: Con destino al Centro de Chalco Estado de México. Ubicada en Tejones, Chalco de Covarrubias Estado de México [16].

Características y dimensiones de la Avenida

- ❖ La avenida tiene una iluminación con disposición de luminarias bilateral con centros opuestos.
- ❖ Poste: De forma general a lo largo de toda la vía, se tienen postes tipo látigo (con brazo) de acero.
- ❖ Poste dimensiones; Altura: 9.06 m, largo brazo: 3.3 m, distancia poste a avenida de 0.5 m.
- ❖ Distancias interpostales: En promedio 26.5 metros.
- ❖ Ancho de la Calle: 13.7 metros.
- ❖ Longitud de la Avenida: 1,300 metros

Características tecnología presente

- ❖ Luminario: Para Alumbrado Público grande (4046), Modelo HOV-25, Holophane, dimensiones: 0.650x0.350 [m]. Certificación NOM-064-SCFI, inclinada, con ángulo de inclinación de 5 grados
- ❖ Lámpara: Sodio de alta presión, TCP 200 Watt HPS Lamp, Mogul Screw Base (E39).
- ❖ Balastro HPS LU200/220-KIT electromagnético.

Ver Anexo No. 1 y No. 2

16 Información proporcionada por El Centro de Servicios Públicos Chalco.

En el **Anexo No 1** se encuentra las fotografías del levantamiento de la Avenida Solidaridad.

En el **Anexo No 2** se encuentran fotografías de la tecnología presente

2.2 Análisis energético del caso de estudio

Las condiciones de las lámparas son deplorables, una razón es la antigüedad de estas lámparas, y la falta de mantenimiento del mismo. Se realizó un levantamiento de las lámparas funcionando correctamente, de las 93 instaladas actualmente. El arreglo interpostal como se mencionó anteriormente es bilateral alternado, por lo que de un lado de la avenida solo funcionan 18, y del lado contrario 29, es decir no funcionan 46 de las 93 que están colocadas. Esto hace un 49.4% de la instalación no está funcionando su trabajo como se diseñó en un principio.

En el Valle de Chalco Solidaridad, al igual que en muchas partes de la República Mexicana, el cargo por el consumo de la energía eléctrica del Alumbrado Público, está incluido en el recibo de todos los residentes de este municipio, por concepto de Derecho de Alumbrado Público (DAP), este cargo adicional que representa un 10% del recibo bimestral, es una estimación del verdadero uso de este servicio. Sin embargo, al alcanzar un 49.4% de capacidad sin utilizar se está desperdiciando energía por los balastos y también está mal estimado el cargo que se hace en los recibos de los ciudadanos.

La capacidad instalada, consta de 93 unidades a lo largo de la Avenida, en la descripción de la tecnología presente, se tiene una demanda total considerando las pérdidas de balastro al tener una conexión bifásica por luminario de 203[W], lo que equivale a una demanda de 18.879 [kW], y finalmente un consumo anual, con 12[hr] diarias todo el año de 82,694.4 [kWh/Año]. Sin embargo se está aprovechando menos de la mitad a la capacidad instalada por las condiciones del sistema de Alumbrado. [\[Anexo No. 3\]](#).

2.2.1 Conclusiones

Se ha descrito las dimensiones de la Avenida Solidaridad, así como el equipo presente que está desempeñando las funciones en el alumbrado público de la misma. En las dimensiones de la avenida y la distribución de los postes existentes son una constante que no puede ser modificada ya que el simple hecho de considerar un posible cambio dejaría fuera el caso de estudio para ser consideradas en el Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal. Por lo que solo se tomara en cuenta una sustitución tecnológica. Hoy en día existe una gran variedad de opciones tecnológicas para el servicio de alumbrado, sin embargo se busca encontrar la más conveniente que se ajuste a las condiciones de la avenida. Por ello se hará uso de la Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2013, eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.

En los antecedentes se mencionaron las tecnologías que más se utilizan para satisfacer el servicio de Alumbrado en vialidades, retomando la sugerencia de la CONUEE de los tres parámetros a considerar en los equipos de alumbrado público que son la potencia de la lámpara, detrás de ello está la misma lámpara y su balastro si es que hace uso de él, el tiempo de servicio el cual está definido en 12 horas al día y la tecnología de la lámpara [17].

En la Tabla 1. Comparativa de las diferentes tecnologías disponibles actualmente se puede apreciar las ventajas y desventajas de cada una de ellas, los puntos a considerar para hacer una propuesta son los siguientes: Potencia (W), Eficacia luminosa (Lm/w), vida promedio , Índice de rendimiento de color (capacidad de reproducir los colores de objetos respecto a la luz natural), temperatura de color (efecto cromático que emite la luz a través de la fuente luminosa), depreciación del flujo luminoso (que tanto se deprecia el flujo con el paso del tiempo), costo inicial y de operación. Estos parámetros ayudaran a definir cuál es una propuesta más adecuada a lo requerido, desde el punto de vista tecnológico como económico, finalmente tienen que ser igual o superiores al caso base para ser viable la sustitución.

El caso base de la lámpara de sodio de alta presión se tiene las siguientes características generales de acuerdo a la Tabla 1. Potencia: 200 (W), Eficacia luminosa 45-150 (Lm/w), vida promedio 24,000 horas, CRI: 21-65, temperatura de color: 1,900-2,200 [k], depreciación del flujo luminoso: 10%, costo inicial y de operación: Bajo en ambos casos, y con balastro electromagnético. Después de analizar los puntos importantes se seleccionaran 3 lámparas de la Tabla 1, tomando de referencia el caso actual en lo técnico y económico, las lámparas seleccionadas serán de 150[W] por cuestiones del consumo eléctrico y balastro electrónico en caso de su uso.

La primera propuesta con características similares al caso base es una tecnología de Aditivos metálicos cerámicos, teniendo en cuenta lo siguiente. Potencia: 150 (W), Eficacia luminosa 65-95 (Lm/w), vida promedio 7,500-15,000 horas, CRI: 65-95, temperatura de color: 3,000-4,100 [k], depreciación del flujo luminoso: 35%, costo inicial y de operación: alto y bajo, y con balastro electrónico.

La segunda propuesta con características similares al caso base es una tecnología de Inducción magnética, teniendo en cuenta lo siguiente. Potencia: 150 (W), Eficacia luminosa 65-85 (Lm/w), vida promedio 100,000 horas, CRI: 80-90, temperatura de color: 2,700-6,600 [k], depreciación del flujo luminoso: casi nulo, costo inicial y de operación: muy alto y bajo, con generador electrónico.

Por último la tecnología más actual, el LED, con las siguientes características. Potencia: 150 (W), Eficacia luminosa 25-83 (Lm/w), vida promedio 100,000 horas, CRI: 50-85, temperatura de color: 2,700-6,600 [k], depreciación del flujo luminoso: casi nulo, costo inicial y de operación: muy alto y muy bajo, sin balastro.

Con las consideraciones hechas anteriormente, se procedió a realizar una selección minuciosa de equipo existente en el mercado de distintos fabricantes, después de una extensa gama de posibilidades se llegó a las tres tecnologías, respaldadas con certificados o sellos que garantizan una eficiencia energética.

En el siguiente apartado, se describirán cada una de las propuestas desde un punto de vista técnico, información proporcionada por los diferentes fabricantes, posteriormente se evaluarán las 3 tecnologías con la NOM-013-2013, se tomarán en cuenta tanto la lámpara, como la luminaria y el balastro en caso de que lo requiera, una vez contemplados estos puntos se llegará a una propuesta ideal para satisfacer los parámetros solicitados en la norma. [\[Anexo No. 4\]](#).

2.3 Propuestas

Después de la selección de las tres tecnologías de una gran variedad de las existentes opciones se describe en los siguientes párrafos a grandes rasgos la información proporcionada por cada fabricante así como las distintas garantías que ofrece cada uno y respaldos que tiene cada una de ellas.

En el capítulo anterior se dijo que una constante en la situación de la Avenida Solidaridad son tanto las dimensiones de la misma así como la ubicación y configuración de los postes, con el fin de ahorrar lo mejor posible los recursos y que la propuesta sea factible. El poste tiene las siguientes características:

- ❖ Poste: Se tienen postes de 9.06 m de altura, en una configuración bilateral con centros opuestos.

2.3.1 Aditivos metálicos cerámicos

A continuación se mencionan los datos técnicos que componen este sistema:

Lámpara de Aditivos Metálicos Cerámicos Master City White CDO-TT Plus 150W/828 E40 marca Philips. Una potencia de 150[W]. Vida nominal 27,000 [hr]. Temperatura de Color: 2,800 [K]. Eficacia: 110 [Lm/W]. CRI: 87 .Flujo Luminoso: 16,500[Lm]. Base: E40 Depreciación luminosa: 20,000 [hr] el 84%. Utilización de un socket de casquillo: E40

Luminario para alumbrado público grande 4046, modelo HOV-25. Holophane. Se utilizara el mismo que se tiene actualmente.

Balastro Electrónico HID Lumicon/ Advance marca Philips para lampara de Sodio de alta presión de 150[W]. Tensión lámpara: 220 [V]. Factor de Potencia: 0.9. Distorsión Armónica: Menor 15%. Factor de Balastro: 100%. Corriente Línea: 1.4 [A]. Y Potencia Línea: 165 [W] [Anexo No. 4].

2.3.2 Inducción magnética

A continuación se mencionan los datos técnicos que componen este sistema:

Lámpara de Inducción magnética marca. Una potencia: 150[W]. Vida nominal de 100,000 [hr]. Tensión de red: 120-277 [V]. Una Temperatura de Color 5,000 [K]. Eficacia: 80 Lm/W. CRI: 80. Un flujo Luminoso de 12,000[Lm]. Y una depreciación luminosa: 60,000 horas el 70%. No requiere de balastro, usa un generador electrónico de Inducción de alto factor de potencia (>0.95),

El luminario está incluido en la venta de la lámpara, es un ACCENT INDUCCIÓN ROADWAY 150 W [\[Anexo No. 4\]](#)

2.3.3 LED

A continuación se mencionan los datos técnicos que componen este sistema:

Lámpara de LED GR-SLQ-150NR-N. GREEN RAY LED LIGHTING. Con 6 módulos. Una potencia de 150[W]. Tensión: 220-240 [V], Vida promedio de 100,000 horas, una temperatura de Color de 5,500 [K]. Una eficacia de 100 Lm/W. CRI: 70%. Flujo Luminoso de 15,000 [Lm]. Una depreciación luminosa de 20,000hr el 20%. Un factor de potencia: 90% [\[Anexo No. 4\]](#).

CAPITULO III

Evaluación de la NOM 013-ENER-2013

La NOM 013-ENER 2013 tiene por objetivo establecer niveles de eficiencia energética en términos de valores máximos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), así como la iluminancia promedio para alumbrado en vialidades en las diferentes aplicaciones que se indican en la presente norma, con el propósito de que se diseñen o construyan bajo un criterio de uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la aplicación de equipos y tecnologías que incrementen la eficacia sin menoscabo de los requerimientos visuales. [18].

Abarca desde sistemas nuevos para todas las vialidades y estacionamientos públicos abiertos, cerrados o techados, así como ampliaciones o modificaciones de instalaciones ya existentes, incluyen tanto Vialidades, como estacionamientos públicos abiertos, cerrados o techados.

El presente trabajo se basa principalmente en esta Norma, como guía de referencia para el cumplimiento de los estándares y estatutos vigentes en el país.

En un primer paso se clasificó la vía de tránsito conforme a lo establecido en la Norma, el tipo de calle, entra en la clasificación vía primaria y Colectora, ya que es una vialidad que se usa para conectar el tránsito entre una vía principal: La Autopista México Puebla, con una secundaria: Con destino al Centro de Chalco Estado de México. Ubicada en Tejones, Chalco de Covarrubias Estado de México. Y la clasificación de la calle es R3, porque es una superficie de asfalto regular y con recubrimiento sellado, con agregados oscuros tal como roca o roca volcánica, textura rugosa después de algunos meses de uso.

La Norma nos menciona tres puntos que debe cumplir cualquier tecnología dependiendo del entorno al que se encuentre, y son:

- ❖ Determinación de la DPEA (Densidad de Potencia Energía en Alumbrado): Es el índice de la carga conectada para alumbrado por superficie iluminada, se expresa en W/m². Se calcula de la siguiente forma:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}}$$

- ❖ Iluminancia mínima promedio: La iluminancia es la relación del flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área; la unidad de medida es el lux (lx). Se calcula de la siguiente forma, donde P_n son los puntos medidos con el método de los 9 puntos:

$$E_{prom} = \frac{P1 + 2P2 + P3 + 2P4 + 4P5 + 2P6 + P7 + 2P8 + P9}{16}$$

- ❖ Uniformidad promedio máxima: La uniformidad es la distribución de los niveles de iluminación sobre el plano de trabajo y se puede expresar como la relación del nivel de iluminación promedio y el mínimo del área a evaluar. Se calcula de la siguiente forma:

$$U_{max} = \frac{E_{prom}}{E_{min}}$$

Todo ello se evalúa a partir del siguiente método, que es “El método de los 9 puntos” que establece la Norma, y tiene la siguiente configuración (Avenida bilateral alternada) en la Figura 1.

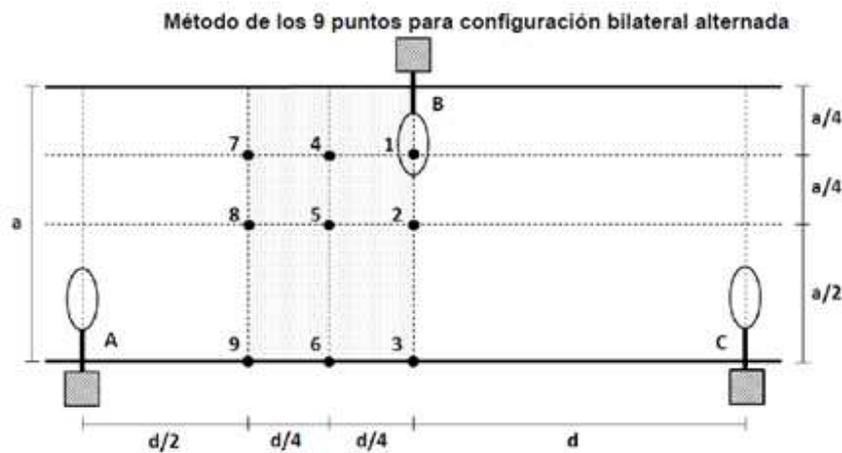


Figura 1. Arreglo interpostal

La norma menciona tres parámetros para saber si una tecnología es capaz de ofrecer un servicio digno para las necesidades de la Avenida en cuestión. El DPEA [W/m²] la información necesaria para obtener este valor es conocer la potencia total de las lámparas respecto al área de incidencia, cabe mencionar que en el caso de estudio se realizó un levantamiento de las dimensiones de la avenida, y datos técnicos de la lámpara proporcionados por el servicio de recursos públicos de Valle de Chalco. Por otra parte en las propuestas está basado solamente en la información proporcionada por el fabricante en cuanto la potencia de cada lámpara. [19].

En la iluminancia mínima promedio, en el caso base se utilizó un luxómetro con certificado de calibración, y en las propuestas basaron los resultados en el Software Dialux 4.11, Finalmente en la Uniformidad promedio máxima es una razón entre un valor obtenido de todos los Lux por lámpara con un parámetro definido en la norma y un rango a cumplir definido igual por la Norma.

3.1 Determinación de DPEA

La avenida tiene una longitud de 1.3 [km] aproximadamente, una muestra algo extensa para su correcto análisis, por lo que se consideró una muestra del mismo para facilitar el estudio, y suficiente para aplicar las consideraciones de la NOM-013-ENERE-2013. Como carga total se consideraron 6 lámparas con una distancia interpostal de 26.5 [m] haciendo una longitud total de 159 [m], por lo tanto el área a considerar con un ancho de calle de 13.7 [m] es de 2,178.30 [m²]. El DPEA obtenido en cada caso se comparara con el valor mencionado en la Tabla 2, valores máximos de la DPEA en Avenidas con pavimento R3, avenida primaria y colectora, y ancho de calle mayor a 12[m] de la NOM-013-ENER-2013 el cual no debe ser mayor a 0.69 [W/m²]. [Anexo No. 5].

Caso de estudio (Sodio de alta presión)

La lámpara de Sodio de alta presión tiene una potencia nominal de 200 [W], una vida promedio de 24,000 horas, temperatura de color de 2,000 [K], y una eficacia de 98 [Lm/W]. La potencia de línea es de 230 [W] debido a las pérdidas del balastro. [Anexo No. 4].

La potencia total de 6 lámparas considerando las pérdidas por el balastro es de 1,218 [W], la relación queda de la siguiente forma:

$$\text{DPEA} = \frac{(6 \times 230)}{(159 \times 13.7)} = \frac{1,380 \text{ [W]}}{2,178.3 \text{ [m]}} = 0.634 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

El valor obtenido no debe ser no mayor a 0.69 [W/m²], por lo tanto cumple el primer punto señalado por la Norma.

Aditivos metálicos cerámicos

La lámpara de Aditivos Metálicos tiene una potencia nominal de 150 [W], una vida promedio de 27,000 horas, temperatura de color de 2,800 [K], y una eficacia de 110 [Lm/W]. La potencia de línea es de 165 [W], con un factor de balastro de 0.9% que afecta el flujo luminoso de 16,500 [Lm] lo disminuye aproximadamente a 14,850 [Lm], afecta muy poco por no ser tan alta la iluminancia. [Anexo No. 4].

La potencia total de 6 lámparas considerando las pérdidas de balastro es de 990 [W], la relación queda de la siguiente forma:

$$\text{DPEA} = \frac{(6 \times 165)}{(159 \times 13.7)} = \frac{990 \text{ [W]}}{2,178.3 \text{ [m]}} = 0.454 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

El valor obtenido no debe ser no mayor a 0.69 [W/m²], por lo tanto cumple el primer punto señalado por la Norma.

Inducción magnética

La lámpara de Inducción magnética tiene una potencia nominal de 150 [W], una vida promedio de 100,000 horas, temperatura de color de 5,000 [K], y una eficacia de 80 [Lm/W]. Esta tecnología no hace uso de un balastro, en su lugar se tiene un generador electrónico de inducción magnética con alto factor de potencia, sin embargo este dispositivo junto con la lámpara sigue generando pérdidas como resultado de acuerdo a la ficha técnica se tiene una potencia de línea de 163 [W], por otra parte conserva el flujo luminoso nominal por ser el factor de balastro nulo al no existir [\[Anexo No. 4\]](#).

La potencia total de 6 lámparas considerando las pérdidas es de 978 [W], la relación queda de la siguiente forma:

$$DPEA = \frac{(6 \times 163)}{(159 \times 13.7)} = \frac{978 [W]}{2,178.3 [m]} = 0.449 [W/m^2]$$

El valor obtenido no debe ser mayor a 0.69 [W/m²], por lo tanto cumple el primer punto señalado por la Norma.

LED

La lámpara de LED tiene una potencia nominal de 150 [W], una vida promedio de 50,000 horas, temperatura de color de 5,500 [K], y una eficacia de 100 [Lm/W]. Esta tecnología a diferencia de las anteriores tiene la ventaja de que las pérdidas son prácticamente nulas, es decir la potencia de línea se conserva a 150 [W] igual que el flujo se conserva por el factor de balastro nulo al no existir [\[Anexo No.4\]](#).

La potencia total de 6 lámparas sin pérdidas es de 900 [W], la relación queda de la siguiente forma:

$$DPEA = \frac{(6 \times 150)}{(159 \times 13.7)} = \frac{900 [W]}{2,178.3 [m]} = 0.413 [W/m^2]$$

El valor obtenido no debe ser mayor a 0.69 [W/m²], por lo tanto cumple el primer punto señalado por la Norma.

3.2 Iluminancia mínima promedio

La iluminancia obtenida en cada caso se comparara en la Tabla 2, donde se establece la Iluminancia mínima promedio en Avenidas con pavimento tipo R3, avenida primaria y colectora de la NOM-013-ENER-2013 el cual no debe ser cuando menor a 12 [Lx]. [Anexo No. 5].

Caso de estudio (Sodio de alta presión)

La iluminancia se obtuvo a partir de las medidas que se obtuvieron con el Luxómetro, instrumento calibrado correctamente y con margen de error menor al 5%. Como se mencionó anteriormente, el arreglo de la avenida es bilateral alternado, en la Tabla 2 se encuentran las mediciones obtenidas con el luxómetro.

SISTEMA	P1 (lx)	P2 (lx)	P3 (lx)	P4 (lx)	P5 (lx)	P6 (lx)	P7 (lx)	P8 (lx)	P9 (lx)
V. de sodio alta presión 200 W caso base.	2.23	4.43	3.90	2.93	9.33	5.00	3.63	10.63	5.46

Tabla 2. Mediciones obtenidas del luxómetro, caso línea.

Como se puede observar en la tabla hay un nivel de iluminancia bastante bajo. Se calcula la iluminancia mínima promedio, en base a la fórmula proporcionada por la Norma, se tiene lo siguiente:

$$E_{prom} = \frac{(2.23)+2(4.43)+(3.90)+2(2.93)+4(9.33)+2(5.00)+(3.63)+2(10.63)+(5.46)}{16} = 6.16 \text{ [Lx]}$$

El valor obtenido debe ser no menor a 12 [Lx], por lo tanto no cumple el segundo punto señalado por la Norma.

Aditivos metálicos cerámicos

Como se vio anteriormente los valores necesarios para determinar la iluminancia mínima promedio fue a partir de las medidas obtenidas por el Programa Dialux versión 4.11 como herramienta de apoyo, por razones de practicidad, con el fin de poder hacer la comparativa para las distintas tecnologías tanto del caso base como las otras propuestas.

Para el caso de la propuesta de Aditivos Metálicos Cerámicos se obtuvieron los siguientes resultados concentrados en la Tabla 3.

SISTEMA	P1 (lx)	P2 (lx)	P3 (lx)	P4 (lx)	P5 (lx)	P6 (lx)	P7 (lx)	P8 (lx)	P9 (lx)
V. aditivos metálicos cerámicos 150 W	13.00	19.00	30.00	11.00	15.00	21.00	14.00	13.00	13.00

Tabla 3. Mediciones obtenidas del programa Dialux 4.11.

En la figura 2 está representada la Iluminancia reflejada de la avenida en colores falsos con la ayuda del software Dialux, la cual nos permite apreciar de forma inmediata el comportamiento de la misma, en la Avenida. Predominan los colores azules en la zona central de los postes están en el rango de los 20 [Lx], y los huecos entre ellos forman un color morado, con un promedio de 10 [Lx]

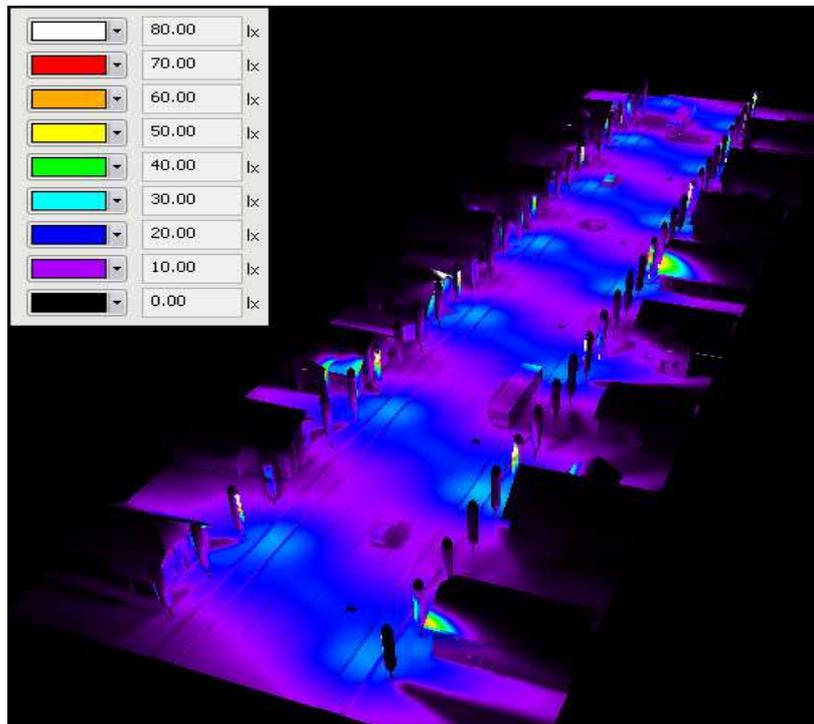


Figura 2. Colores falsos proyectados en la Avenida con Tecnología de Aditivos Metálicos Cerámicos

La iluminancia mínima promedio, en base a la formula proporcionada por la Norma, se tiene lo siguiente:

$$E_{prom} = \frac{(13)+2(19)+(30)+2(11)+4(15)+2(21)+(14)+2(13)+(13)}{16} = 16.13 \text{ [Lx]}$$

El valor obtenido debe ser no menor a 12 [Lx], por lo tanto cumple el segundo punto señalado por la Norma.

Inducción magnética

Para el caso de la propuesta de Inducción magnética se obtuvieron los siguientes resultados concentrados en la Tabla 4:

SISTEMA	P1 (lx)	P2 (lx)	P3 (lx)	P4 (lx)	P5 (lx)	P6 (lx)	P7 (lx)	P8 (lx)	P9 (lx)
Inducción 150 W	10.00	14.00	23.00	8.74	11.00	16.00	11.00	9.88	9.88

Tabla 4. Mediciones obtenidas del programa Dialux 4.11.

En la siguiente figura 3 está representada la Iluminancia reflejada de la avenida en colores falsos obtenidos de la simulación con Dialux, la cual nos permite apreciar de forma inmediata el comportamiento de la misma, en la Avenida. En la zona central de los postes de color azul están en el rango de los 20 [Lx], y los huecos formados en los postes forman un color morado, con un promedio de 10 [Lx]

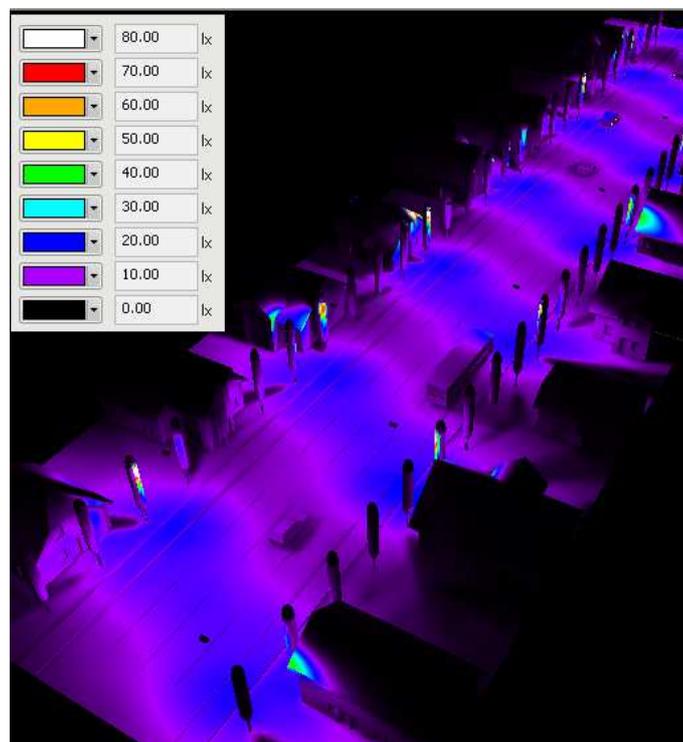


Figura 3. Colores falsos proyectados en la Avenida con Tecnología de Inducción magnética.

La iluminancia mínima promedio, en base a la fórmula proporcionada por la Norma, se tiene lo siguiente:

$$E_{prom} = \frac{(10)+2(14)+(23)+2(8.74)+4(11)+2(16)+(11)+2(9.88)+(9.88)}{16} = 12.20 \text{ [Lx]}$$

El valor obtenido debe ser no menor a 12 [Lx], por lo tanto cumple el segundo punto señalado por la Norma.

LED

Para el caso de la propuesta de Aditivos Metálicos Cerámicos se obtuvieron los siguientes resultados en la Tabla 5:

SISTEMA	P1 (lx)	P2 (lx)	P3 (lx)	P4 (lx)	P5 (lx)	P6 (lx)	P7 (lx)	P8 (lx)	P9 (lx)
LEDs 150 W	11.00	25.00	41.00	7.38	14.00	19.00	4.48	6.93	4.59

Tabla 5. Mediciones obtenidas del programa Dialux 4.11.

En la siguiente figura 4 está representada la Iluminancia reflejada de la avenida en colores falsos obtenidos de la simulación con Dialux, la cual nos permite apreciar de forma inmediata el comportamiento de la misma, en la Avenida. En este último caso se tienen 3 colores, A diferencia de los diagramas anteriores, en el centro del arreglo de postes se tienen un color verdosos, equivale a 40 [Lx], en las orillas de esta figura hay una línea delgada de azul de 20[Lx], y finalmente está más abierto en la separación del haz de luz, casi llegando al negro, pero predomina el morado que pertenece a 10 [Lx].

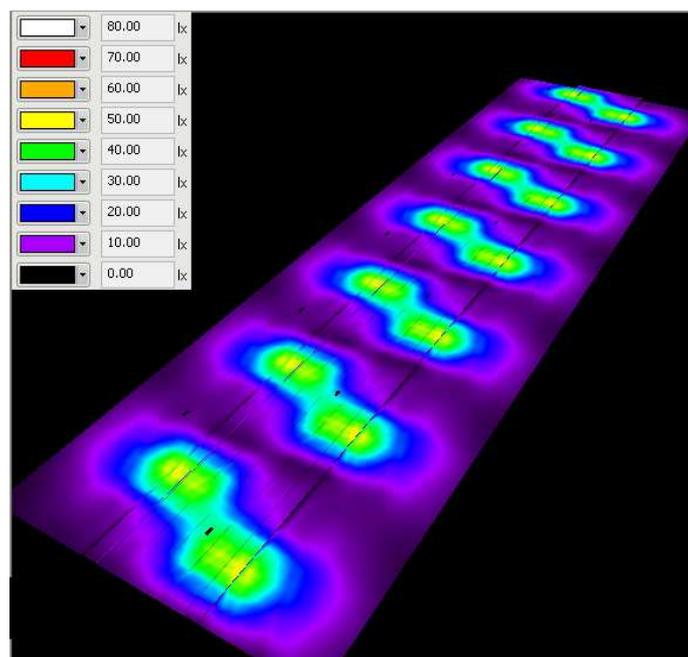


Figura 4. Colores falsos proyectados en la Avenida con Lámpara de Aditivos Metálicos Cerámicos

La iluminancia mínima promedio, en base a la fórmula proporcionada por la Norma, se tiene lo siguiente:

$$E_{prom} = \frac{(11)+2(25)+(41)+2(7.38)+4(14)+2(19)+(4.48)+2(6.93)+(4.59)}{16} = 14.61 \text{ [Lx]}$$

El valor obtenido debe ser no menor a 12 [Lx], por lo tanto cumple el segundo punto señalado por la Norma.

3.3 Uniformidad promedio máximo

Este último cálculo, es la relación de la Iluminancia promedio respecto a la Iluminancia mínima de la medición de los 9 puntos, y posteriormente el valor obtenido tiene que tener una razón de 4 a 1 valor estipulado en la Tabla 2 relación de uniformidad promedio máxima de la NOM-013-ENER-2013 [Anexo No. 5].

Caso de estudio (Sodio de alta presión)

El valor obtenido de los resultados del Luxómetro, E_{prom} es de 6.16 [Lx], y la $E_{mín}$ es de 2.23 [Lx], la razón queda de la siguiente forma:

$$U_{max} = \frac{E_{prom}}{E_{mín}} = \frac{6.16 \text{ [Lx]}}{2.23 \text{ [Lx]}} = 2.76$$

El valor obtenido debe ser no mayor de 4 a 1 por lo tanto cumple el punto señalado por la Norma.

Aditivos metálicos cerámicos

El valor obtenido en la simulación en el software Dialux, E_{prom} es de 16.13 [Lx], y la $E_{mín}$ es de 11.0 [Lx], la razón queda de la siguiente forma:

$$U_{max} = \frac{E_{prom}}{E_{mín}} = \frac{16.13 \text{ [Lx]}}{11.0 \text{ [Lx]}} = 1.47$$

El valor obtenido debe ser no mayor de 4 a 1 por lo tanto cumple el punto señalado por la Norma.

Inducción magnética

El valor obtenido en la simulación en el software Dialux, Epromedio es de 12.20 [Lx], y la Emínima es de 8.74 [Lx], la razón queda de la siguiente forma:

$$U_{max} = \frac{E_{prom}}{E_{min}} = \frac{12.20 [Lx]}{8.74 [Lx]} = 1.40$$

El valor obtenido debe ser no mayor de 4 a 1 por lo tanto cumple el punto señalado por la Norma.

LED

El valor obtenido en la simulación en el software Dialux, Epromedio es de 14.61 [Lx], y la Emínima es de 3.26 [Lx], la razón queda de la siguiente forma:

$$U_{max} = \frac{E_{prom}}{E_{min}} = \frac{14.61 [Lx]}{3.26 [Lx]} = 3.26$$

El valor obtenido debe ser no mayor de 4 a 1 por lo tanto cumple el punto señalado por la Norma.

3.4 Resumen

El sistema de alumbrado público en la Avenida Solidaridad tiene que cumplir los puntos señalados en la NOM 013 ENER 2013, tanto el DPEA, la iluminancia mínima promedio y la uniformidad promedio máxima. Por lo que en la Tabla 6 están contenidos los resultados finales de cada consideración.

Tecnología	DPEA [W/m ²]	E prom [Lux]	U max [1]
Caso de estudio (sodio de alta presión)	SI CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE
Aditivos metálicos cerámicos	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Inducción magnética	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
LED	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Tabla 6. Resumen de resultados del cumplimiento de la NOM-013-ENER-2013.

Como se puede observar en la tabla anterior, todas las tecnologías propuestas cumplen con los valores requeridos en la Norma, por lo tanto hasta este momento cualquiera de ellas es factible para ser reemplazo de la actual. El caso de estudio no cumple solo uno de los puntos y es el de la Iluminancia mínima promedio, debido a tantas desuniformidades del flujo luminoso que produce la tecnología actual.

CAPITULO IV

~~Evaluación económica~~

El siguiente apartado tiene por objeto conocer la rentabilidad económica financiera, de manera que se resuelva una necesidad social, en este caso tener un servicio adecuado de Alumbrado Público, pues como se mencionó anteriormente, las condiciones que se tienen actualmente de la instalación en general son deplorables, además del equipo en mal estado. A continuación se tratarán dos vertientes del caso de estudio, la parte tecnológica del caso base y las propuestas, y la cuestión energética. Los resultados obtenidos serán precios netos, sin considerar el IVA.

4.1 COSTO POR TECNOLOGÍA

Una vez evaluado cada sistema con la NOM-013-ENER-2013, se procede a evaluar el costo que cada fabricante ofrece en cada tecnología, para así hacer una comparativa de cada uno de ellos, y finalmente llegar a una conclusión en el siguiente capítulo cuál es la más conveniente. En cada caso se contemplan las 93 lámparas y los precios con sin IVA. [Anexo No. 6].

Aditivos metálicos cerámicos

Lámpara: Aditivos metálicos cerámicos de 150[W], marca Philips, precio unitario \$314.54. Balastro LUMICON/ADVANCE Philips 150W, precio unitario \$576.72. Luminario: El mismo del caso base HOV-25, precio unitario \$0.00. Hace un total de \$891.26 por unidad sin IVA. Un monto total por las 93 a sustituir es de \$82,887.18 sin IVA.

Inducción magnética

KIT ROADWAY HAVELLS 150 [W] (lámpara, luminario, y generador), precio unitario \$3,331.66 por unidad sin IVA. Un monto total por las 93 a sustituir es de \$309,844.38 sin IVA.

LED

Luminario + lámpara LED 6 módulos Streetlight 150 [W], precio unitario \$7,900.00 por unidad sin IVA. Un monto total por las 93 a sustituir es de \$734,700.00.

La inversión inicial no define del todo si una propuesta es o no la más adecuada, se requieren tratar otros parámetros que se verán más adelante, sin embargo hasta el momento la tecnología de Aditivos metálicos requiere de una inversión menor a las dos propuestas restantes con \$82,887.18. Cabe mencionar que la mano de obra no se contempla porque son gastos que absorbe el municipio pues cuenta con recursos y el personal necesario para la correcta instalación, son empleados que reciben un sueldo y una de sus funciones está dentro de un cambio de tecnología en el alumbrado público.

4.2 Costo por consumo eléctrico

Este parámetro es un punto importante para determinar el periodo simple de recuperación, ya que cada tecnología tiene un distinto consumo energético, que es evaluado en la tarifa de CFE Tarifa 5-A “Servicio para alumbrado público en todo el país (2014) “en media tensión, y con los resultados obtenidos se puede saber en cuanto tiempo se puede recuperar una inversión respectiva a cada propuesta.

El punto de referencia fue la tarifa 5A vigente en el año 2014, año en el cual realizó el levantamiento del sistema. Con la información que se encuentra en la página de CFE se determinó un promedio de la tarifa a lo largo de todo el año 2014, año que será el punto de referencia para la comparativa del consumo eléctrico de cada tecnología, que da como resultado 2.2545 (\$/kWh). [20].

En la tabla 7 esta resumido el consumo eléctrico demandado por cada tecnología, incluido el caso base, con las 93 lámparas y se consideran las pérdidas que existen por diversos factores como el balastro o el generador en el caso de la lámpara de inducción, con ello se obtiene un estimado del monto de [\$/año] generado en los mismos. En la última columna se encuentra la diferencia en pesos de cada caso, el cual ayuda a visualizar rápidamente lo que cada propuesta ofrece y así llegar a una conclusión.

AÑO 2014	TECNOLOGÍA	POTENCIA NOM (W)	POTENCIA REAL (W)	CANTIDAD (PZA)	DEMANDA (kW)	CONSUMO ANUAL (kWh/Año)	MONTO (\$/Año)	DIFERENCIA DEL CASO BASE (\$)
CASO BASE	SODIO ALTA PRESIÓN	200.00	230.00	93.00	21.39	93,688.20	211,220.05	0
PROPUESTA 1	ADITIVOS METÁLICOS CERÁMICOS	150.00	165.00	93.00	15.35	67,211.10	151,527.42	59,692.62
PROPUESTA 2	INDUCCIÓN MAGNÉTICA	150.00	163.00	93.00	15.16	66,396.42	149,690.73	61,529.32
PROPUESTA 3	LED	150.00	150.00	93.00	13.95	61,101.00	137,752.20	73,467.84

Tabla 7. Costo por consumo

En la primera propuesta, aditivos metálicos, el consumo es 28.26% menor al caso base, y se ve reflejado con un ahorro monetario de \$59,692.62.

El consumo de la segunda propuesta, inducción magnética, es 29.13% menor al caso base, ligeramente más grande que la primera propuesta y se ve reflejado con un ahorro monetario de \$61,529.32.

En la última propuesta, LED, se tiene un ahorro de 34.78% menor al caso base, más grande que las dos propuestas anteriores y se ve reflejado con un ahorro monetario de \$73,467.84.

Como se puede observar entre la primera y segunda propuesta se tienen casi los mismos ahorros, poco menos de 1%, por lo que en este aspecto la tecnología LED es la que ofrece un mayor ahorro tanto monetario como en consumo eléctrico. Más adelante se consideraran los parámetros restantes para elegir la más indicada.

4. 3 Análisis técnicos y económicos de los resultados

Anteriormente se obtuvieron los resultados que relacionan el caso base con las propuestas desde un punto de vista económico, en la parte tecnológica y energética. En este apartado se analizarán estos resultados para justificar que propuesta es viable intercambiar con la actual a corto plazo y cuáles son a largo plazo.

Se utilizará el método de “Costo nivelado de la energía ahorrada (CEA)”, la ventaja radica en que la comparación se hace respecto a los precios y tarifas de la energía. Además permite comparar con facilidad sistemas con diferente vida útil (más aún si cada sistema a su vez se compone de elementos con diferente vida), debido a que se basa en el cálculo de anualidades equivalentes. Características que encajan perfectamente con el caso de estudio.

Consiste básicamente en transformar a anualidades equivalentes, mediante una tasa de descuento llamada “Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva (TREMA)”, definida por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), la cual establece que para evaluar proyectos de inversión en las dependencias federales (incluyendo a la CFE y PEMEX) debe ser de 12 % en términos reales (ya descontada la inflación). Así, la tasa real de descuento de 12% se aplicará en forma directa para proyectos con flujos de efectivo expresados en moneda constante. También considera los costos de inversión (y de otros rubros de costos en que sean diferentes las alternativas) de las tecnologías eficiente y convencional.

Se tiene la siguiente información para el correcto análisis del sistema:

- ❖ Horas anuales que se usa el equipo (12 hr por día los 365 días del año): 4,380 [hr]
- ❖ Precio Promedio de la energía eléctrica del 2014 (Tarifa 5A CFE): \$2.2545
- ❖ Tasa de descuento real (TREMA): 12%
- ❖ Numero de luminarios a sustituir: 93 [pza]

La mano de obra fue considerada de la siguiente forma para todos los casos, definiendo un sueldo tanto de un oficial electricista y un ayudante, como salario semanal el oficial gana aproximadamente \$ 2,500.00 y el ayudante \$ 1,200.00, durante 8 horas por día 6 veces a la semana, por mantenimiento requieren 45 minutos por equipo tratado, es decir 57.81\$ en términos generales este valor se ocupará.

Los precios que a continuación se mencionan fueron obtenidos de distintas distribuidoras eléctricas como son: Alcione, Industria eléctrica, Green Ray LED México, Materiales eléctricos Necaxa, Eléctrica Tacubaya sucursal santa fe, Distribuidora perlus iluminación.
[Anexo No. 6].

Cada propuesta requiere una consideración distinta la una de la otra, tanto en la sustitución de la lámpara, la luminaria o el balastro si es que la utiliza dicha tecnología. La primera propuesta aditivos metálicos requiere la sustitución de lámpara balastro. En el caso de Inducción abarca el cambio en luminario, lámpara y el balastro pues utiliza un generador que está incluido de acuerdo a información proporcionada por el proveedor. Por último la tecnología LED al igual que el de inducción es un cambio completo.

En el siguiente apartado esta resumida la información proporcionada anteriormente de cada sistema respecto al caso base, con los datos técnicos con su respectivo costo proporcionado por las diferentes distribuidoras eléctricas [Anexo No. 4 y 6].

Finalmente las marcas de cada propuesta son las siguientes, las cuales están mejor detalladas en el Anexo No. 4. El sistema actual tiene una lámpara de sodio de alta presión de 200[W] marca Sylvania Unalux, un balastro electromagnético marca Sylvania. La primera propuesta de aditivos metálicos la mejor opción por las ventajas técnicas que ofrece sobre las demás es una lámpara de aditivos metálicos de 150[W], marca Philips al igual que el balastro electromagnético. La segunda propuesta es una tecnología de Inducción magnética de 150[W] Havells el cual contiene la lámpara, la luminaria y un generador electrónico. Por último la tecnología LED [Anexo No. 4].

4.3.1 Lámpara

Se empezará el análisis con la lámpara, la cual es uno de los tres parámetros definidos por la CONUEE un correcto diseño de un sistema de alumbrado público. La lámpara empleada en el caso base es una tecnología de sodio de alta presión con las siguientes características mismas que sirven para determinar su costo: Potencia nominal de 200 [W], una potencia real de 230 [W] debido a las pérdidas de balastro, una vida nominal de 24,000 [hrs] es decir una vida útil de 5.48 años aproximadamente, y si requiriera de mantenimiento el costo es de 57.81 \$ con las consideraciones nombradas anteriormente.

En la tabla 8 está concentrada la información proporcionada por el fabricante en el aspecto técnico, el precio proporcionado por las distribuidoras eléctricas mencionadas anteriormente y finalmente el monto a pagar si requiriera de mantenimiento.

LÁMPARA	POTENCIA NOMINAL (W)	POTENCIA REAL (W)	VIDA (hr)	VIDA ÚTIL (años)	PRECIO (\$)	MANTENIMIENTO (\$)
SODIO ALTA PRESIÓN (CASO BASE)	200.00	230.00	24,000.00	5.48	0.00	57.81
ADITIVOS METÁLICOS	150.00	165.00	27,000.00	6.16	314.54	57.81
INDUCCIÓN MAGNÉTICA(LÁMPARA + GENERADOR + LUMINARIO)	150.00	163.00	100,000.00	22.83	3,331.66	0.00
LED (Luminario + 6 módulos)	150.00	150.00	100,000.00	22.83	7,900.00	0.00

Tabla 8. Comparativa caso base y propuestas

Es evidente el ahorro por la diferencia de potencias en las propuestas, hasta este momento la lámpara de LED es más eficiente con 150[W] de potencia nominal y real pues tiene perdidas casi nulas, otro aspecto importante son los años de vida que de acuerdo al fabricante la lámpara estará trabajando correctamente, aquí la tecnología del LED y de Inducción tiene 100,000 horas de vida, y finalmente el mantenimiento que se pudiera presentar por algún desperfecto, algo que es omitido en las tecnologías de inducción y de LED, consecuencia de las horas de vida tan prolongadas respecto al caso base y al de aditivos metálicos. En conclusión el LED desde el punto de vista de solo la lámpara tiene una ventaja considerable de las otras, por su potencia, vida útil y el mantenimiento, sin embargo esto se ve afectado por la inversión inicial al adquirir la lámpara.

4.3.2 Balastro

El caso de estudio utiliza un balastro para una lámpara de sodio de alta presión, solo una de las propuestas planteadas utiliza, la de aditivos metálicos, sin embargo actualmente la utilización del balastro tiene ventajas importantes de las tecnologías pasadas, como lo es en el caso de estudio, pues es utilizado un balastro electromagnético, desventajas notables de su uso es las pérdidas de alrededor del 30%, con 10% de pérdidas por parte del balastro electromagnético, este balastro propuesto tiene una garantía de 5 años.

En la tabla 9 está concentrado la comparativa de la tecnología presente con la primera propuesta.

BALASTRO / DRIVER / GENERADOR	POTENCIA DE LÍNEA	AÑOS DE GARANTÍA	VIDA ÚTIL (AÑOS)	PRECIO (\$)	MANTENIMIENTO (\$)
SODIO ALTA PRESIÓN	230.00	3.00	6.00	0.00	57.81
ADITIVOS METÁLICOS	165.00	5.00	10.00	576.72	0.00

Tabla 9. Comparativa caso base y propuestas

El costo del caso base es cero, por ser una tecnología instalada, no requiere de otra inversión a diferencia del mantenimiento que se le da si llegara a fallar alguno de ellos. En cuanto al sistema se tiene la siguiente información.

4.3.3 Luminario

El luminario sería reutilizado en la primera propuesta, aditivos metálicos, por la compatibilidad de la lámpara de esta tecnología, por ello no se haría algún gasto adicional. Las dos propuestas restantes utilizan un luminario diferente al actual, sin embargo tienen la ventaja de que el precio que aparece en la luminaria está incluido el precio tanto de la lámpara, como del luminario, y del generador en el caso de la lámpara de inducción.

4.3.4 Sistema de iluminación

En la Tabla 10 se retoman las cantidades calculadas del consumo anual de cada tecnología, el gasto que generaría si se llevara a cabo una sustitución del equipo existente, y el total de inversión inicial por este cambio.

Sistema de iluminación	UNIDADES	SODIO ALTA PRESIÓN	ADITIVOS METÁLICOS	INDUCCIÓN MAGNÉTICA	LED
Potencia demandada	Watt	230.00	165.00	163.00	150.00
Consumo energía anual	KWh/año	93,688.20	67,211.10	66,396.42	61,101.00
Costo equipos iniciales	\$ de 2014	0.00	82,887.18	309,844.38	734,700.00
Costo mantenimiento	\$ de 2014	5,376.33	5,376.33	0.00	0.00
Total inversión	\$ de 2014	5,376.33	88,263.51	309,844.38	734,700.00

Tabla 10. Inversión total por sistema de iluminación

La tabla anterior menciona el consumo energético de cada tecnología, sin embargo los costos de la inversión total solo contemplan la tecnología y el mantenimiento de las 93 lámparas, el mantenimiento es omitido en las tecnologías de inducción y de LED, consecuencia de las horas de vida tan prolongadas respecto al caso base, los costos de equipo iniciales del caso de estudio son nulos debido a que ya se encuentran instalados, y los gastos por la sustitución no se consideran ya que el municipio tiene los recursos y el personal que tiene la función de mantener las instalaciones en buen estado. Dicho esto, las diferencias de inversiones están definidas únicamente por el costo de cada equipo (Lámpara, balastro y luminario). Por ello la tecnología que requiere una mayor inversión inicial es la de LED, con \$ 734,700.00, y la menor es la de aditivos metálicos con \$ 88,263.61. Es decir en este punto la primera propuesta es la más conveniente

4.3.5 Costo Anual Equivalente (CAE)

En el costo anual equivalente, está desglosado por 5 puntos importantes, la lámpara, el balastro, el luminario, el mantenimiento, y el consumo eléctrico. Se consideraron de la siguiente manera: Para la lámpara, el balastro y el luminario se consideró un TREMA de 12 %, los años de vida de cada uno, la inversión inicial, y los 93 equipos a sustituir. En el caso del mantenimiento, se contempló el TREMA a 12%, el mantenimiento del balastro en caso de su uso, y el costo del mantenimiento. Por último el costo del consumo eléctrico es de 2.2545 (\$/kWh) un promedio para el año 2014. En la tabla 11 están concentrados los resultados de cada uno de los casos.

Sistema de iluminación	UNIDADES	SODIO ALTA PRESIÓN	ADITIVOS METÁLICOS	INDUCCIÓN MAGNÉTICA	LED
CAE Lámpara	\$ de 2014	0.00	6,982.55	40,205.35	95,334.53
CAE Balastro	\$ de 2014	0.00	9,492.54	0.00	0.00
CAE Luminario	\$ de 2014	0.00	0.00	0.00	0.00
CAE Mantenimiento	\$ de 2014	1,307.66	951.53	0.00	0.00
CAE Inversión	\$ de 2014	1,307.66	17,426.62	40,205.35	95,334.53
CAE Consumo Eléctrico	\$ de 2014	211,220.05	151,527.42	149,690.73	137,752.20
CAE Total	\$ de 2014	212,527.71	168,954.04	189,896.07	233,086.73

Tabla 11. Inversión total por sistema de iluminación

Ahora las cifras están más parejas debido a que se consideró el consumo eléctrico del caso base y las propuestas, puntos que hacen un proyecto viable, hasta este momento, la mejor opción sigue siendo la primera propuesta, aditivos metálicos con un (CAE) de \$ 168,954.04 al año, en segundo lugar la de inducción y por poco la de LED.

4.3.6 Ahorro anual en consumo eléctrico

Una vez analizado el CAE, se procede a calcular el ahorro de consumo eléctrico anual que ofrece cada tecnología. En la tabla 12 están las cantidades de cada una de ellas.

UNIDADES	SODIO ALTA PRESIÓN	ADITIVOS METÁLICOS	INDUCCIÓN MAGNÉTICA	LED
kWh	0.00	26,477.10	27,291.78	32,587.20
\$ de 2014	0.00	59,692.62	61,529.32	73,467.84
% Consumo Eléctrico	0.00	28.26%	29.13%	34.78%

Tabla 12. Ahorro anual consumo eléctrico

Los porcentajes reflejan la cantidad neta ahorrada en cada caso, el caso base tiene cero ahorros por ser el punto de referencia de los otros tres casos. En este punto es notable el ahorro que ofrece el LED, con 34.78%. A continuación están desarrollados los cálculos realizados para la obtención de estos valores.

Este ahorro es determinado con la diferencia de los consumos de energía anual por tecnología:

- Aditivos metálicos: kWh ahorrado = $(93,688.20 - 67,211.10)[kWh] = 26,477.10$ [kWh]
- Inducción magnética: kWh ahorrado = $(93,688.20 - 66,396.42)[kWh] = 27,291.78$ [kWh]
- LED: kWh ahorrado = $(93,688.20 - 61,101.0)[kWh] = 32,587.20$ [kWh]

La parte económica es la diferencia de CAE consumo eléctrico:

- Aditivos metálicos: \$ De 2014 = $(211,220.05 - 151,527.42)[kWh] = 59,692.62$ [kWh]
- Inducción magnética: \$ De 2014 = $(211,220.05 - 149,690.73)[kWh] = 61,529.32$ [kWh]
- LED: \$ De 2014 = $(211,220.05 - 137,752.20)[kWh] = 73,467.84$ [kWh]

El porcentaje del consumo eléctrico es una razón de consumo eléctrico del caso base de 93,688.20 [kWh] respecto al ahorro de cada uno.

4.3.7 Ahorro anual en costos totales

Este ahorro se calcula con la diferencia del Costo anual equivalente del caso base que es de \$ 212,527.71, y el de cada propuesta es decir los ahorros económicos netos definidos por el CAE. En la tabla 13 se encuentran tales cantidades.

UNIDADES	SODIO ALTA PRESIÓN	ADITIVOS METÁLICOS	INDUCCIÓN MAGNÉTICA	LED
\$ de 2014	0.00	43,573.67	22,631.63	-20,559.02
% Costo anual	0.00	20.50%	10.65%	-9.67%

Tabla 13. Ahorro anual de costos totales

El costo anual equivalente en el caso del LED es mayor, principalmente por el monto total de la inversión inicial, por ello se obtuvieron resultados negativos, con un costo anual del -9.67%, por otro lado la propuesta de aditivos metálicos sigue siendo la más factible por tener un ahorro anual del 20.50%.

4.3.8 Costo Nivelado de Energía Ahorrada (CEA)

Ahorrar energía generalmente cuesta, los costos de inversión de una tecnología eficiente son mayores que los de una convencional. Por lo tanto, la diferencia entre las inversiones representa el costo incurrido para ahorrar energía.

Con los datos obtenidos se transformaran a anualidades equivalentes, mediante una tasa de descuento, los costos de inversión de las tecnologías eficiente y convencional. La diferencia entre anualidades es el costo adicional anual que tiene el sistema eficiente, el cual se divide entre la diferencia de consumos anuales.

$$CEA = \frac{AE(I)F - AE(I)C}{\text{Ahorro anual de energía}}$$

Las variables contempladas fue la diferencia de la inversión de lámpara, balastro, luminario y mantenimiento del caso base y la propuesta en cuestión, respecto al ahorro anual del consumo eléctrico en cada caso.

A continuación se realizara el cálculo en cada caso con la expresión anterior para determinar el CAE

$$\text{Aditivos metálicos: } CEA = \frac{17,426.62 - 1,307.66 \text{ [\$]}}{26,477.10 \text{ [kWh]}} = 0.61 \text{ [$/kWh]}$$

$$\text{Inducción magnética: } CEA = \frac{40,205.35 - 1,307.66 \text{ [\$]}}{27,291.78 \text{ [kWh]}} = 1.43 \text{ [$/kWh]}$$

$$\text{LED: } CEA = \frac{(95,334.53 - 1,307.66) \text{ [\$]}}{32,587.20 \text{ [kWh]}} = 2.89 \text{ [$/kWh]}$$

Este cociente es el costo incurrido para ahorrar cada unidad de energía (\$/kWh). La primera propuesta tiene un costo adicional por ser un sistema eficiente menor que los otros dos casos, por lo que solo confirma que es la mejor opción. Y el del LED es más de 4 veces mayor, por contener una mayor inversión inicial.

4.3.9 Recuperación de Inversión Inicial Incremental (PSR)

La parte más importante del análisis, es el tiempo que tardará cada tecnología propuesta en recuperar la inversión inicial, los factores contemplados son el costo de inversión total (diferencia de la inversión del caso base con el de cada propuesta) con razón al ahorro de consumo anual eléctrico. Se realizara el cálculo en cada propuesta:

$$\text{Aditivos metálicos: } PSR = \frac{(88,263.51 - 5,376.33) \text{ [\$]}}{59,692.62 \text{ [\$]}} = 1.39 \text{ [Años]}$$

$$\text{Inducción magnética: } PSR = \frac{(309,844.38 - 5,76.33) \text{ [\$]}}{61,529.32 \text{ [\$]}} = 4.95 \text{ [Años]}$$

$$\text{LED: } PSR = \frac{(734,700 - 5,376.33) \text{ [\$]}}{73,467.84 \text{ [\$]}} = 9.93 \text{ [Años]}$$

Evidentemente la primera propuesta en casi todos los aspectos supera a las otras dos opciones, en conclusión la tecnología de aditivos metálicos es la más adecuada a las necesidades del municipio, además que en poco tiempo se recuperaría la inversión.

Conclusiones

Chalco es un claro ejemplo de la situación que hoy en día se sigue suscitando, las deficiencias tecnológicas en los servicios públicos, como lo es el alumbrado público. La avenida solidaridad es solo una muestra de lo que muchas comunidades del Estado de México siguen padeciendo en los servicios públicos más básicos. La tecnología de sodio de alta presión es la utilizada en avenida solidaridad, aunque esta tecnología tiene bastantes ventajas para las necesidades de una avenida no muy transitada, sin embargo en el caso de estudio es una tecnología bastante antigua, en malas condiciones por lo que es incapaz de satisfacer lo requerido en la avenida.

Se realizaron una serie de evaluaciones que confirmaron el mal estado del servicio del alumbrado público, puntos que sirvieron para poder proponer tres tecnologías que son capaces de satisfacer las necesidades de una avenida en estas condiciones. Se realizó una evaluación con la NOM-013-ENER-2013, y una evaluación económica desde un punto de vista tecnológico y de consumo eléctrico. Para llegar a una posible solución de la problemática, se requiere que las propuestas cumplan la Norma para así determinar la más conveniente. La información utilizada para su evaluación está respaldada con los datos proporcionados por el fabricante y utilizadas en el software Dialux 4.11 con ello se confirmó que tanto la propuesta de aditivos metálicos, inducción y LED cumplen los parámetros mínimos de la Norma que es el DPEA, la iluminancia mínima promedio y la uniformidad promedio máximo. Hasta aquí las tres propuestas cumplen tecnológicamente y son capaces de ofrecer un buen servicio de alumbrado público.

El Costo Anual Equivalente (CAE), está desglosado por 5 puntos importantes, la lámpara, el balastro, el luminario, el mantenimiento, y el consumo eléctrico. Para la lámpara, el balastro y el luminario se consideró un TREMA de 12 %, los años de vida de cada uno, la inversión inicial, y los 93 equipos a sustituir. En el caso del mantenimiento, se contempló igual el TREMA a 12%, el mantenimiento del balastro en caso de su uso, y el costo del mantenimiento. Por último el costo del consumo eléctrico es de 2.2545 (\$/kWh) un promedio para el año 2014. El CAE total de la tecnología de Aditivos metálicos tiene ventaja sobre los demás con \$168,954.04 anuales utilizados en las 93 lámparas y luminarios a sustituir, en el caso del LED y la inducción magnética están casi a la par.

En el ahorro anual en consumo eléctrico la tecnología LED tiene una ventaja al ofrecer un ahorro del 34.78% reflejado en un ahorro de 32,587.20 [kWh] con ello un monto de \$73,467.84.

El ahorro anual de los costos totales se calcula con la diferencia del costo anual equivalente del caso base que es de \$ 212,527.71, y el de cada propuesta es decir los ahorros económicos netos definidos por el CAE. Este ahorro se ve mejor beneficiado de nuevo la propuesta de aditivos metálicos, con un ahorro de 20.50% equivalente a \$43,573.67.

El costo nivelado de energía ahorrada (CEA) es un parámetro, el cual está ligado al costo incurrido por ahorrar cada unidad de energía, es decir es una transformación de lo que cuesta hacer una sustitución en términos de [\$/kWh]. En tercera ocasión la primera propuesta de aditivos metálicos es bastante menor el monto con 0.61 [\$/kWh].

La variable que tiene detrás de ella todo lo analizado anteriormente, y la cual da pauta si una propuesta es factible, es la Recuperación de Inversión Inicial Incremental (PSR), en primer lugar se tiene la tecnología de aditivos metálicos con un periodo de recuperación de 1.39 años, en segundo lugar el de inducción magnética con un periodo de recuperación de 4.95 años y el LED con un periodo de recuperación de 9.93 años, el más alejado de las dos anteriores. Después de analizar todas estas variables se llega a la conclusión que la primera propuesta es la más óptima para sugerir un cambio de tecnología de la actual, y como es menor a dos años entra en el tiempo de duración del presidente municipal, actualmente es el Lic. Francisco Osorno Soberón (2013-2015).

Finalmente solo restaría sugerir esta propuesta al Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal, con ayuda del presidente municipal y hacer entrega de los siguientes documentos: Solicitud inicial, firmada por el Presidente Municipal. Carta de no adeudo a CFE. Censo de alumbrado público del municipio. Proyecto de sustitución con información de los sistemas actuales y propuestos (Características y costos). Localización de los sistemas de iluminación (Puntos de luz). Destino final de las luminarias remplazadas (reubicación o destrucción). Facturación y, en su caso, el Derecho de Alumbrado Público (DAP).

LEVANTAMIENTO AVENIDA SOLIDARIDAD



Fotografía 1. Avenida Solidaridad: Vista general de la Vía.



Fotografía 2. Dimensiones de Postes en la Avenida Solidaridad, Chalco Estado de México



Fotografía 3. Distancias interpostales.



Fotografía 4. Modelo luminaria: HOV-25.



Fotografía 5. Ancho de la calle.

TECNOLOGÍA PRESENTE



Fotografía 6. Sylvania Unalux 200 Watt High Pressure Sodium Retrofit Lamp



Fotografía 7. Balastro electromagnético HPS LU200/220-KIT

CONDICIONES DE LA AVENIDA SOLIDARIDAD



Fotografía 8. Condiciones a media Avenida.



Fotografía 9. Balastro ocioso.



Fotografía 10. Tramo de la avenida que funciona correctamente.



Fotografía 11. Avenida mal iluminad 1.



Fotografía 12. Avenida mal iluminada 2

FICHAS TÉCNICAS DE LA TECNOLOGÍA PRESENTE Y PROPUESTAS

Caso de estudio (Sodio de alta presión)

A continuación se mencionan los datos técnicos que componen este sistema:

- ❖ Poste: Se tienen postes de 9.06 m de altura, en una configuración bilateral con centros opuestos.
- ❖ Luminario: Alumbrado público grande (4046), Modelo HOV-25, Holophane, dimensiones: 0.650x0.350 [m]. Certificación NOM-064-SCFI.
- ❖ Lámpara de Sodio de Alta Presión con las siguientes características técnicas:
 - ◆ Marca/Modelo: Sylvania Unalux 200 Watt High Pressure Sodium Retrofit Lamp
 - ◆ Mogul Screw Base (E39). Sylvania
 - ◆ Potencia: 200[W]
 - ◆ Vida: 24,000 [hrs]
 - ◆ Temperatura de Color: 2,000 [K]
 - ◆ Eficacia: 98 [Lm/W].
 - ◆ CRI (Color Rendering Index): 22 (max)
 - ◆ Bulbo ED-23.5
 - ◆ Flujo Luminoso: 16,000[Lm]
 - ◆ Base: E39
 - ◆ Depreciación luminosa: 18,000h- 70%.
- ❖ Socket de casquillo: E39
- ❖ Balastro: HPS LU200/220-KIT electromagnético con las siguientes características técnicas:
 - ◆ Marca/Modelo: Sylvania
 - ◆ Tipo de Lámpara: Sodio de alta presión
 - ◆ Potencia lámpara: 200 [W]
 - ◆ Tensión lámpara: 240 [V]
 - ◆ Rango Voltaje operación: 120/208/240/480 [V], 60 [Hz]
 - ◆ Factor de Potencia: Alto
 - ◆ Distorsión Armónica: No hay dato.
 - ◆ Factor de Balastro: No hay dato
 - ◆ Corriente Línea: 1.08 [A]
 - ◆ Dimensiones: 71.12x65.53x100.07 mm
 - ◆ Peso: 3,628.73 [gr]
 - ◆ Potencia Línea: 230 [W]
 - ◆ 3 años de garantía
 - ◆ Sello No hay dato

Aditivos metálicos cerámicos

Primera propuesta, A continuación se mencionan los datos técnicos que componen este sistema:

- ❖ Poste: Se tienen postes de 9.06 m de altura, en una configuración bilateral con centros opuestos.
- ❖ Luminario alumbrado público grande (4046), Modelo HOV-25, Holophane, dimensiones: 0.650x0.350 [m].
- ❖ Lámpara de Aditivos Metálicos Cerámicos con las siguientes características técnicas:
 - ◆ Marca/Modelo: MASTER CityWhite CDO-TT Plus 150W/828 E40, Philips.
 - ◆ Potencia: 150[W]
 - ◆ Vida:
 - Vida al 5% de fallos 15,000 hr
 - Vida al 10% de fallos 18,000 hr
 - Vida al 20% de fallos 21,000 hr
 - Vida al 50% de fallos 27,000 hr
 - ◆ Temperatura de Color: 2,800 [K]
 - ◆ Eficacia: 110 Lm/W.
 - ◆ CRI (Color Rendering Index): 87 (max)
 - ◆ Bulbo T46 (46mm)
 - ◆ Flujo Luminoso: 16,500[Lm]
 - ◆ Base: E40
 - ◆ Depreciación luminosa: 2,000hr-99%, 6,000hr-99%,8,000hr-99%, 12,000hr-98%, 16,000hr-94%, 20,000hr-84%.
 - ◆ Sello ANCE.
- ❖ Socket de casquillo: E40
- ❖ Balastro: BALASTRO ELECTRONICO HID con las siguientes características técnicas:
 - ◆ Marca/Modelo: Philips, Lumicon/Advance
 - ◆ Tipo de Lámpara: Aditivos metálicos o Sodio de alta presión de 150[W]
 - ◆ Potencia lámpara: 150 [W]
 - ◆ Tensión lámpara: 220 [V]
 - ◆ Rango Voltaje operación: 120-277 [V]60 [Hz]
 - ◆ Factor de Potencia: 0.9
 - ◆ Distorsión Armónica: Menor 15%
 - ◆ Factor de Balastro: 100%
 - ◆ Corriente Línea: 1.4-0.6 [A]
 - ◆ Dimensiones: 140x92x38 mm
 - ◆ Peso: No hay dato
 - ◆ Potencia Línea: 165 [W]
 - ◆ 5 años de garantía.
 - ◆ Sello ANCE.

Inducción magnética

Segunda propuesta, A continuación se mencionan los datos técnicos que componen este sistema:

- ❖ Poste: Se tienen postes de 9.06 m de altura, en una configuración bilateral con centros opuestos.
- ❖ Luminario alumbrado público: ACCENT INDUCCIÓN ROADWAY 150 W, 760X260mm. HAVELLS.
- ❖ Lámpara de Inducción magnética con las siguientes características técnicas:
 - ◆ Marca/Modelo: LÁMPARA DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA, HAVELLS P405401-36
 - ◆ Potencia: 150[W]
 - ◆ Vida: 80,000-100,000 hr
 - ◆ Tensión de red: 120-277 [V], 50-60 [Hz]
 - ◆ Potencia del sistema: 163 [W]
 - ◆ Temperatura de Color: 5,000 [K]
 - ◆ Eficacia: Mayor a 80 Lm/W.
 - ◆ CRI (Color Rendering Index): 80 (MAX).
 - ◆ Dimensiones: 395X54X82 [mm]
 - ◆ Flujo Luminoso: 12,000[Lm]
 - ◆ Base: No hay información.
 - ◆ Depreciación luminosa: 60,000-70%
 - ◆ Sello ANCE.
- ❖ Generador electrónico de Inducción de alto factor de potencia (>0.95), sin parpadeo de luz, salida constante de potencia, protección térmica y protección contra fin de vida de la lámpara.

LED

Tercera propuesta, A continuación se mencionan los datos técnicos que componen este sistema:

- ❖ Poste: Se tienen postes de 9.06 m de altura, en una configuración bilateral con centros opuestos.
- ❖ Luminario SLQ Streerlight - N, dimensiones: 993X358X144 [mm].
- ❖ Lámpara de LED con las siguientes características técnicas:
 - ◆ Marca/Modelo:, GR-SLQ-150NR-N. GREEN RAY LED LIGHTING.
 - ◆ Numero de módulos: 6
 - ◆ Potencia: 150[W]
 - ◆ Vida: 100,000hr
 - ◆ Temperatura de Color: 5,500 [K]
 - ◆ Eficacia: 100 Lm/W.
 - ◆ CRI (Color Rendering Index): mayor a 70%
 - ◆ Flujo Luminoso: 15,000 [Lm]
 - ◆ Depreciación luminosa: 20,000hr-20%.
 - ◆ Factor de potencia: Mayor a 90%
 - ◆ Tension: 220-240 [V], 50-60 [Hz]
 - ◆ Certificado: CE EuropeanConformity (Europe), IESNA LM-79, IEC 62471, ENERGY STAR, ISO 9001:2008
 - ◆ Años garantía : 5 Años.

Tabla 2. Valores máximos de DPEA, iluminancia mínima promedio y valor máximo de la relación de uniformidad promedio para vialidades con pavimento

Clasificación de Vialidad	Iluminancia mínima promedio [lx]	Relación de uniformidad promedio máxima E_{prom}/E_{min}	DPEA [W/m^2]			
			Ancho de calle [m]			
			< 9,0	$\geq 9,0$ y < 10,5	$\geq 10,5$ y < 12,0	$\geq 12,0$
Autopistas y carreteras	6	3 a 1	0,41	0,38	0,35	0,31
Vías de acceso controlado y vías rápidas	14	3 a 1	1,01	0,95	0,86	0,81
Vías principales y ejes viales	17	3 a 1	1,17	1,12	1,03	0,97
Vías primarias y colectoras	12	4 a 1	0,86	0,81	0,74	0,69
Vías secundarias residencial Tipo A	9	6 a 1	0,64	0,59	0,54	0,50
Vías secundarias residencial Tipo B	7	6 a 1	0,49	0,45	0,42	0,37
Vías secundarias industrial Tipo C	4	6 a 1	0,32	0,28	0,26	0,23

Imagen 1. Valores mínimos y máximos para pavimento tipo R1 y R3.

DISTRIBUIDORAS ELÉCTRICAS

ALCIONE: SUCURSAL ECATEPEC

Dirección: Vía Morelos No. 318, Col. Santa Clara Cerro Gordo, Ecatepec, Edo. De México C.P. 55540

Horario: Lunes – Viernes: 8:00 – 18:00 hrs., Sábado: 8:00 – 13:00 hrs., Tel: 5779-8190 Fax: 2233-2223, Servicios:

Ventas Mayoreo y Menudeo. Email:

GREEN RAY LED MÉXICO: DISTRITO FEDERAL

Tel: (55) 5203-2615 y 5207-6878, email: bmoreno@greenrayled.com, web: www.greenrayled.com

Durango No. 243 Int. 703, Col. Roma Norte, 06700 México, D.F. Iluminación LED. Linear. Spot. Reflectores. Bulbos. Cintas. Iluminación Empotrable. Iluminación Direccional. Iluminación Grandes Superficies. Linear Lighting. Down Lighting. Spot Lighting. Area Lighting. General Lighting. Green Ray Custom. Silverline.

MATERIALES ELÉCTRICOS NECAXA

Orión 6, prado Churubusco, Coyoacán, C.P. 04230, DF , tel: (55)5670-1513

ELECTRICA TACUBAYA SUCURSAL SANTA FE

Prol. Gómez Farías 237, carlos a. madrazo, Álvaro obregón, C.P. 01320, DF. tel: (55)2167-1006

DISTRIBUIDORA PERLUS ILUMINACIÓN

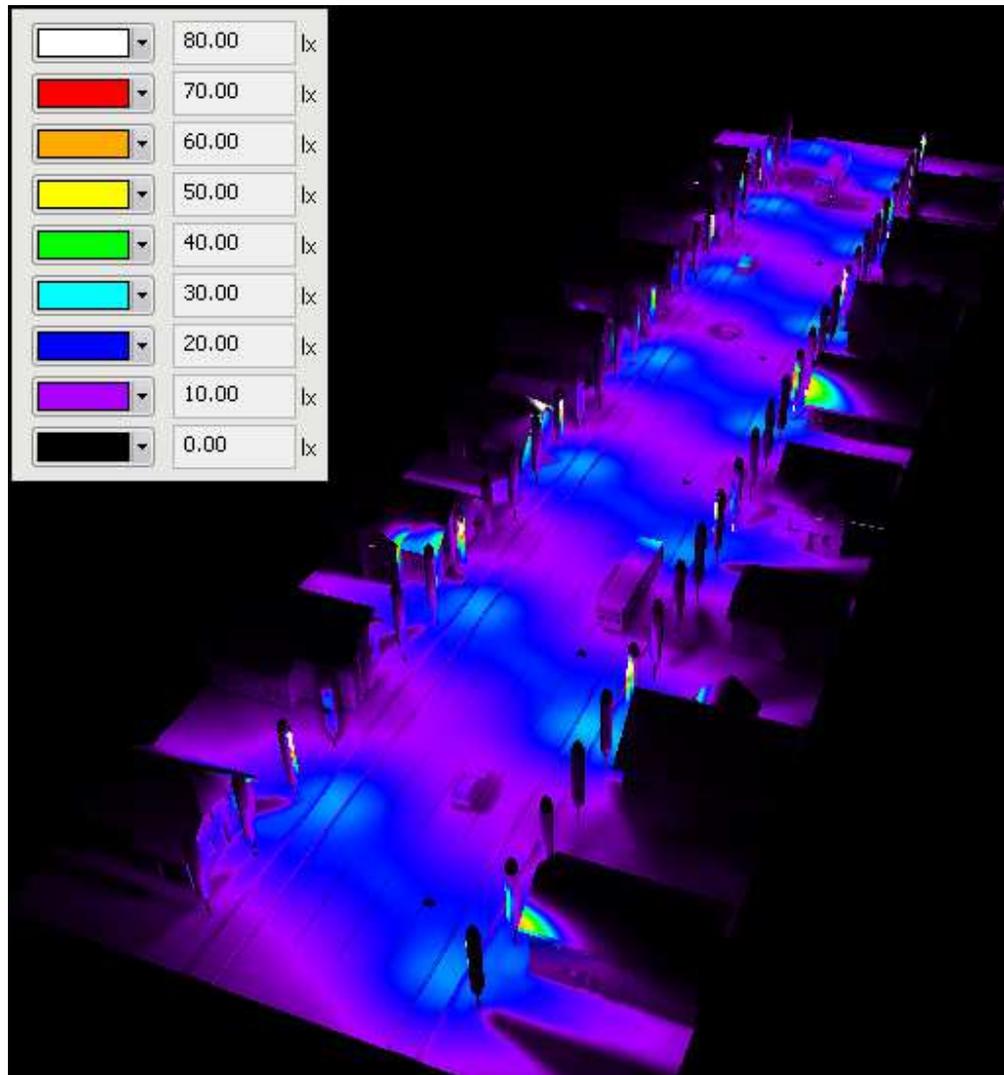
Mercado hidalgo zona 18 loc 133, doctores, Cuauhtémoc, C.P. 06720, CP. tel: (55)5588-0970

SIMULACIÓN DE ILUMINANCIA

Aditivos metálicos cerámicos

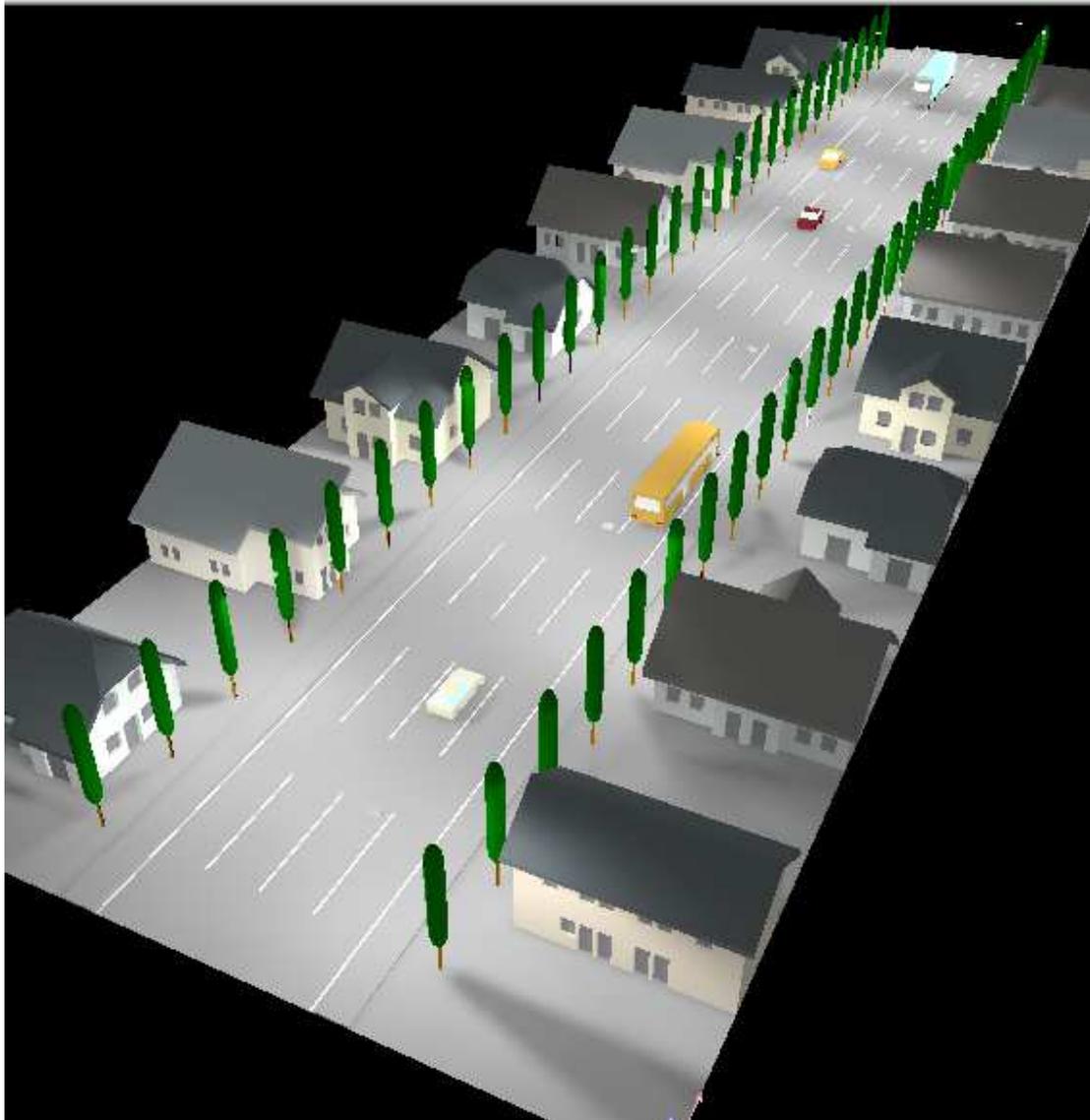


Simulación 1A Vista general Aditivos metálicos en avenida.

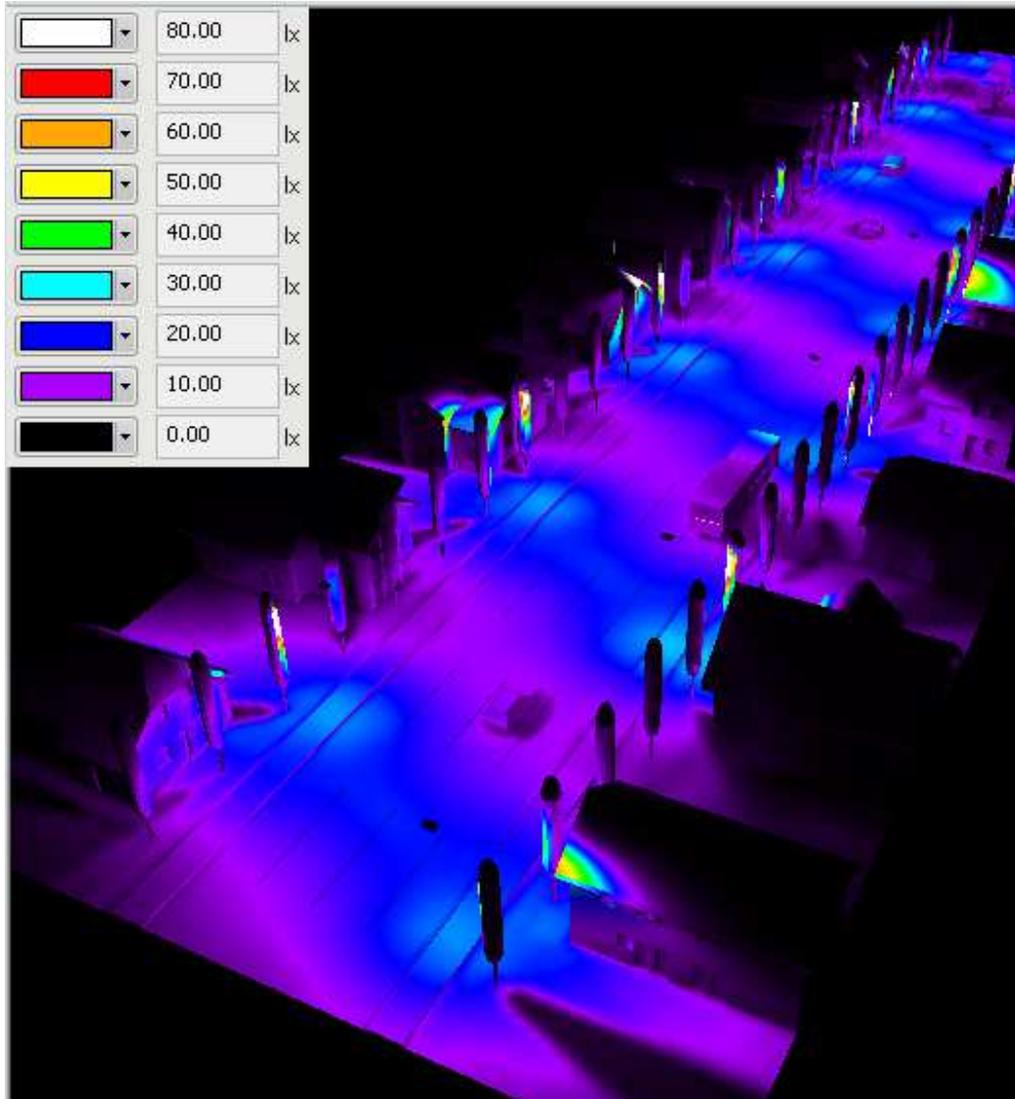


Simulación 1B Colores falsos Aditivos metálicos en avenida.

Inducción magnética

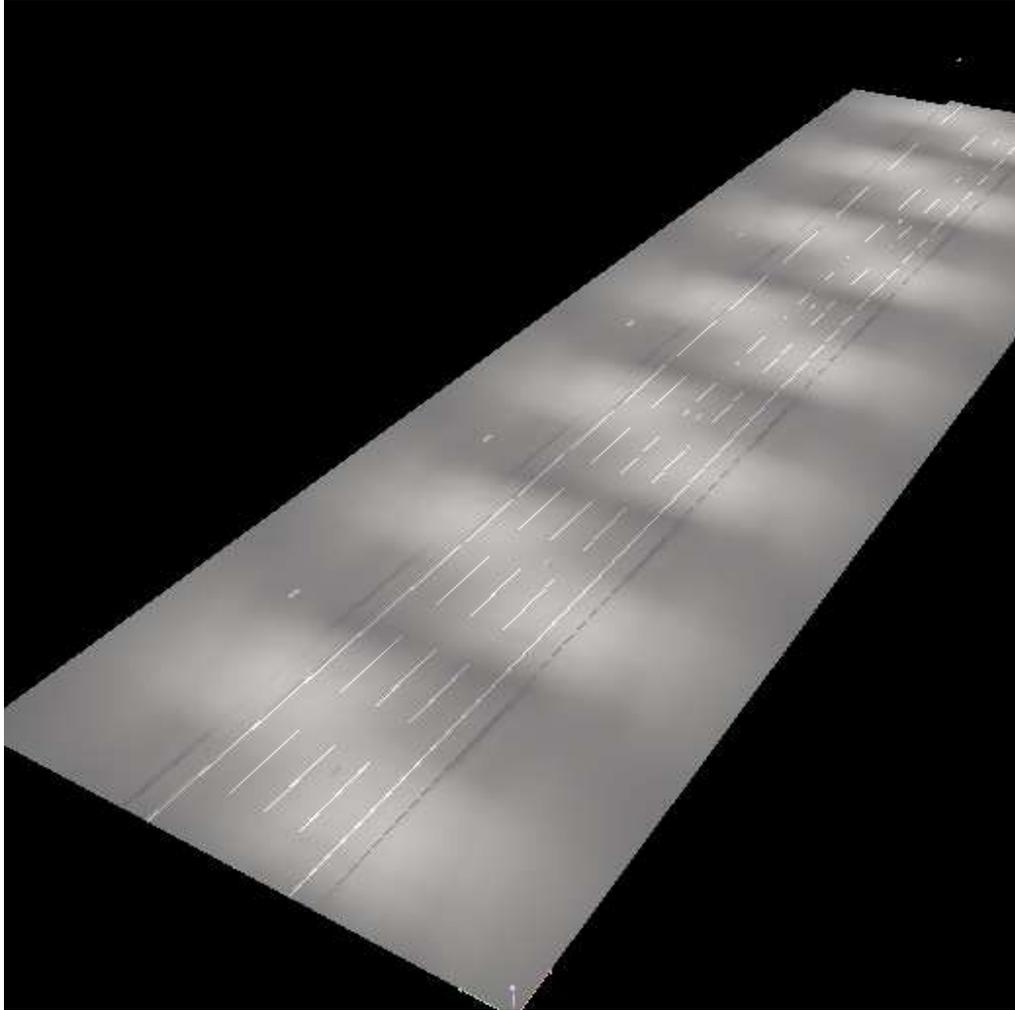


Simulación 2A Vista general Inducción Magnética en avenida.

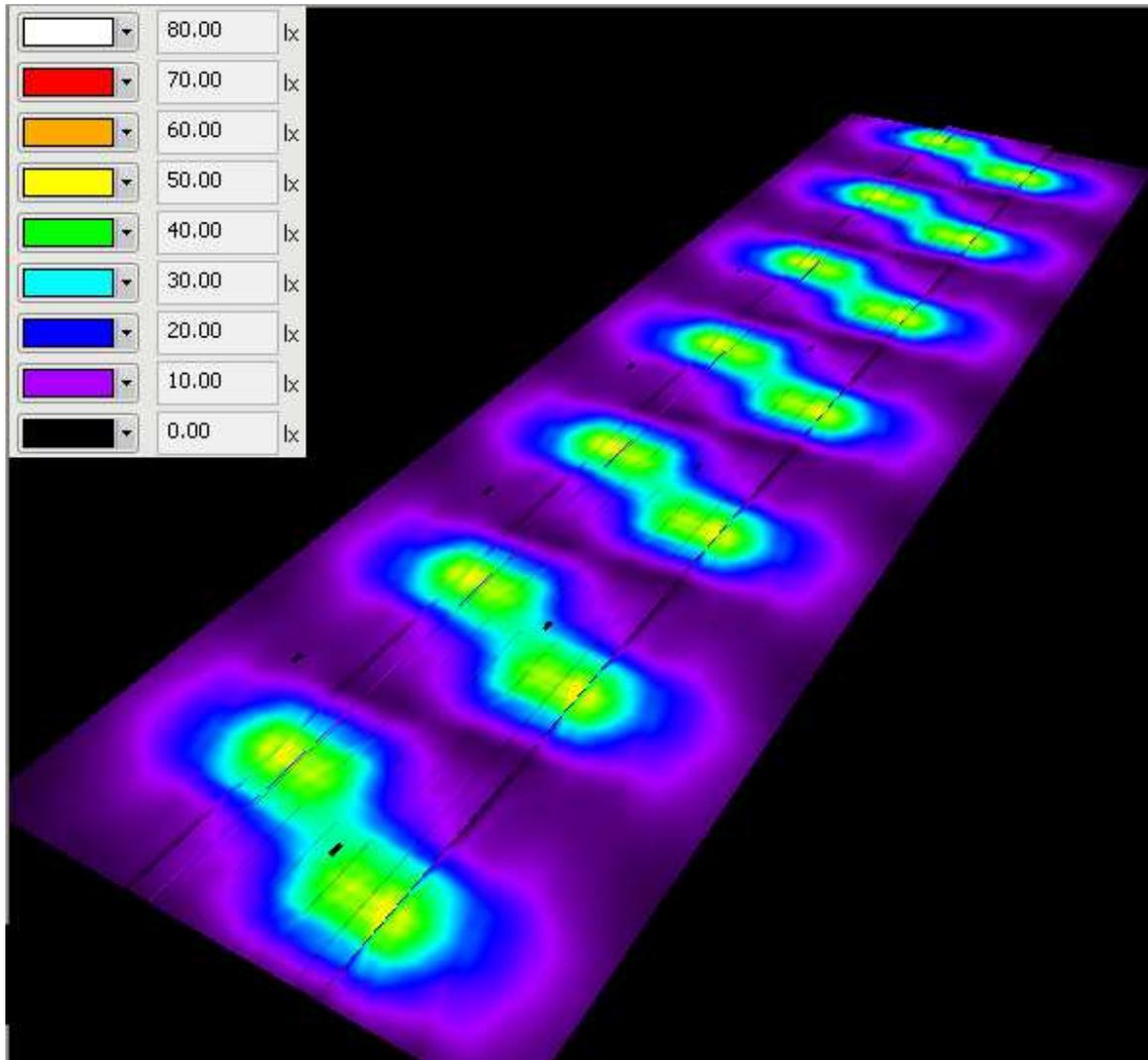


Simulación 2B Colores falsos Inducción magnética en avenida.

LED



Simulación 3A Vista general LED en avenida.



Simulación 3B Colores falsos LED en avenida.

Bibliografía

- ❖ NOM-013-ENER-2013 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas
- ❖ Tarifas eléctricas CFE (http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp)
- ❖ Portal CONUEE: <http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/comunicado122010>
- ❖ Situación Energética en México : <http://www.luminnova.com/nosotros/index.php>
- ❖ Tecnologías alumbrado publico
http://www.eoi.es/wiki/index.php/Equipos_y_eficiencia_en_alumbrado_exterior_en_Eficiencia_energ%C3%A9tica
- ❖ Iluminación en México: <http://www.iluminet.com/en-mexico-18-de-la-energia-electrica-se-destina-a-iluminacion/>
- ❖ Situación municipio Chalco http://valledechalco.edomex.gob.mx/conoce_valledechalco
- ❖ Catálogos Havells <http://www.havells-mexico.com/>
- ❖ Catalogo Greenray: <http://www.greenrayled.com/products/sl-q-series/>
- ❖ Catálogos Philips <http://www.philips.com.mx/>
- ❖ Catálogos GreenRay <http://www.greenrayled.com/products/sl-q-series/>
- ❖ Clasificación vialidades México
<http://www.sice.oas.org/trade/mrcsrs/resolutions/an3594.asp>
<http://www.teleley.com/normas/octubre03/252946.pdf>
- ❖ INEGI Chalco
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/Movil/MexicoCifras/mexicoCifras.aspx?em=15122&i=e&tema=est>
- ❖ Alumbrado publico programa Mexico: <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=2617>
http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/proyecto_nacional_de_eficiencia_energetica_en_alum
- ❖ Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal:
http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/proyecto_nacional_de_eficiencia_energetica_en_alum