

Programa de mejoramiento en la eficiencia energética del sistema de alumbrado público

Realizado por: Roberto Barraza García, M.Sc., Asesor externo

Revisado por: Ing. Gerardo López, Director de Alumbrado Público

4/14/15



Tabla de Contenido

Introducción	4
Antecedentes	6
Identificación del problema	9
<i>DOS TIPOS DE ALUMBRADO PÚBLICO</i>	9
<i>ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO POR PARTE DE LA CFE</i>	11
<i>FALTA DE UN CRECIMIENTO COMPACTO DE LA CIUDAD</i>	11
<i>IMPACTO AMBIENTAL - MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO</i>	13
Objetivo del proyecto	15
<i>OBJETIVOS GENERAL</i>	15
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	15
Sistema de tele-gestión	16
Tecnologías de alumbrado público	18
Mediciones en campo	29
<i>NORMAS OFICIALES MEXICANAS ALUMBRADO PÚBLICO</i>	31
Tecnología de iluminación propuesta	32
Co-beneficios del alumbrado público	35
Mesa técnica de alumbrado público	36
<i>ACUERDOS Y RECOMENDACIONES</i>	36

ALCALDE
MUNICIPAL
CIUDAD DE JUÁREZ
ESTADO DE COAHUILA DE ZARAGOZA

Impactos positivos a la salud por eficiencia en el sistema de alumbrado público.	39
<i>INTRODUCCIÓN</i>	39
<i>GENERALIDADES DE LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS</i>	40
<i>IMPACTOS A LA SALUD POR MATERIAL PARTICULADO PM2.5</i>	41
<i>SELECCIÓN DE LA FUNCIÓN EXPOSICIÓN-RESPUESTA (FER)</i>	42
<i>REDES DE MONITOREO DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS</i>	43
<i>DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA CALIDAD DE AIRE EN CIUDAD JUÁREZ</i>	44
<i>IMPACTOS POSITIVOS A LA SALUD HUMANA POR EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO PÚBLICO</i>	46
Literatura consultada	49
Anexo 1: Minutas de acuerdos de la mesa técnica de alumbrado público	52
Anexo 2: Reglamento de alumbrado público aprobado por el H. cabildo del municipio de Juárez	53
Anexo 3: Propuesta de bases para proyecto y obras del alumbrado público	54



INTRODUCCIÓN

En 2007 el total de la energía consumida mundialmente fue de 600 EJ (10^{18}) y se espera que se triplique para el 2060, el 30% de dicha energía consumida fue utilizada para la generación de energía eléctrica equivalente a 1.6667×10^{14} kWh, produciendo gases de efecto invernadero (GEI) los cuales son la principal causa del cambio climático. La emisión total de GEI a nivel mundial en 2011 fue de 42 mil millones de toneladas métricas, se estima que la generación de energía eléctrica es responsable del 24% de las emisiones globales (Varadi et al., 2011).

Los altos y continuos incrementos en los costos de los combustibles fósiles y la fuerte dependencia de la economía mundial hacia éstas fuentes de energía, así como la creciente conciencia social acerca del Cambio Climático (CC), ha llevado a diversos países a desarrollar políticas públicas que promuevan dos estrategias principalmente: la integración en su infraestructura de fuentes renovables de energía y el uso eficiente de la misma (DOF, 2009).

El diseño del alumbrado público municipal tiene actualmente diversos objetivos y consideraciones como lo son: seguridad a peatones y automovilistas en horarios nocturnos y reducir los índices criminalísticos (Atkins, 1991; Farrington and Welsh, 2002; Kate Painter, 1999); sin embargo ha faltado tomar en cuenta el uso eficiente de la energía y su impacto ambiental como parte de los objetivos del alumbrado público que se requiere en la actualidad (Alzubaidi and Soori, 2012). Se estima que sólo el alumbrado público consume el 20% del total de la energía eléctrica generada (Lukman and Krajnc, 2011).

GOBIERNO MUNICIPAL 2013-2016

MUNICIPAL
DE JUÁREZ
COAHUILA DE ZARAGOZA

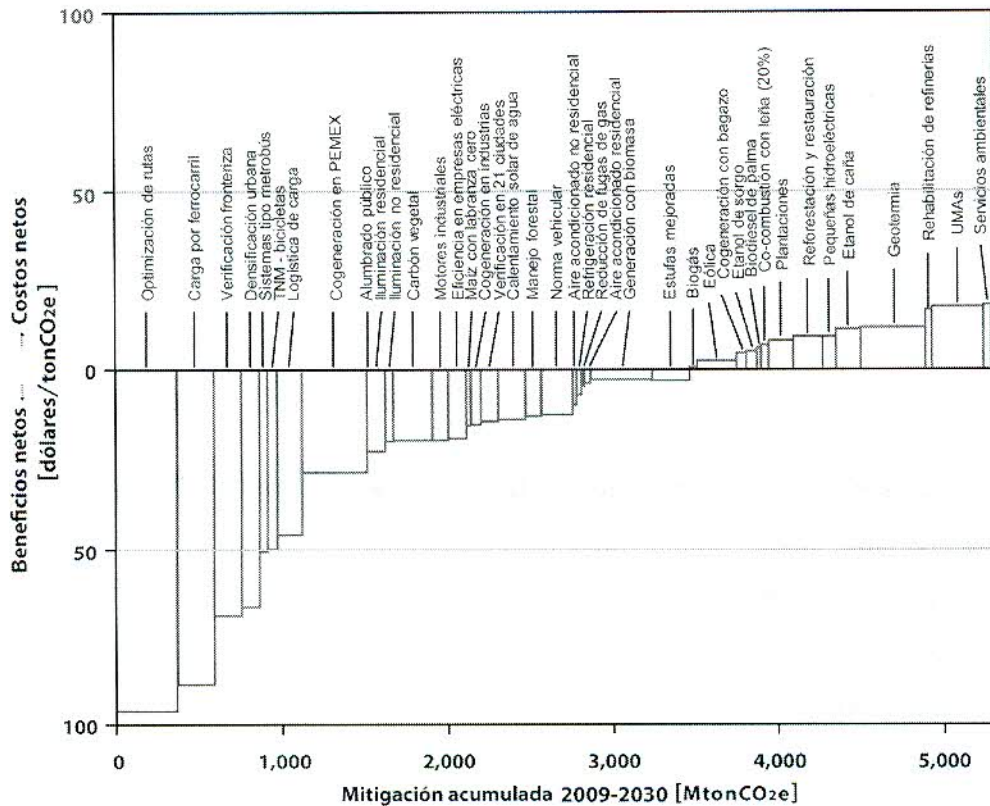


Figura 1. Curva de costo de abatimiento para México 2009-2030 (Galindo Luis Miguel, 2009).

La curva de costo abatimiento mostrada en la Figura 1 puede ser utilizada por los tomadores de decisiones como una herramienta que indica una ruta de acciones de mitigación al cambio climático en eficiencia energética y energías renovables. Aquella acciones que se encuentran en la negativa de la gráfica representan las mejores opciones en cuanto a costo y retorno de inversión; mientras que aquellas que se encuentran en la parte positiva de la gráfica representan inversiones muy altas, de largo plazo y donde generalmente se requiere de participación de capital de otros actores (Senatla et al., 2013).



ANTECEDENTES

El censo de luminarias proporcionado por la Dirección de Alumbrado Público a enero del 2014 muestra que existen 97,208 luminarias de vapor de sodio de alta presión de acuerdo a la distribución mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1. Censo de luminarias Municipio de Juárez.

Luminaria	Aplicación (calles y avenidas)	Cantidad	Porcentaje (%)
Luminaria VSAP 100W	Calles secundarias	44,935	46.55%
Luminaria VSAP 150W	Calles secundarias y primarias	26,847	27.81%
Luminaria VSAP 250W	Calles primarias	20,169	20.89%
Luminaria VSAP 400W	Avenidas Principales	4,125	4.27%
Luminaria VSAP 500W	Avenidas Principales	5	0.01%
Luminaria VSAP 1000W	Avenidas Principales	447	0.46%
	Total de luminarias	96,528	100.00%

De la Tabla 2 se puede observar que el mayor potencial de ahorro de energía eléctrica se encuentra principalmente en el alumbrado público de las calles primarias y secundarias ya que representan el 95.3% del total de las luminarias existentes; sin embargo es importante resaltar que las luminarias que representan menos del 5% son las que tienen la mayor potencia nominal por lo que es importante que también se busque la eficiencia energética en dichas luminarias. En la Figura 1 muestra los últimos 3 años de consumo de energía eléctrica del Alumbrado Público facturado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (Público, 2014ba).



Consumo de Alumbrado Público facturado por la CFE

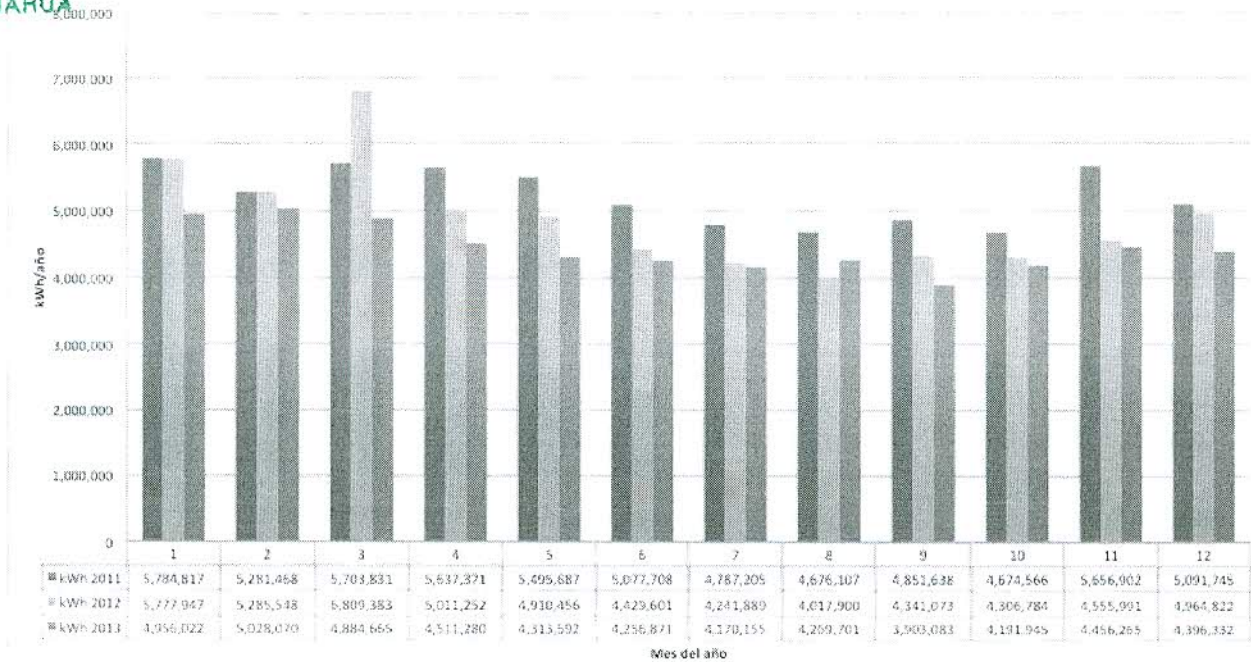


Figura 2. Consumo de Alumbrado Público a CFE.

El consumo que se muestra en la Figura 2 no representa el consumo total del alumbrado público ya que se cuenta en Ciudad Juárez con una empresa que genera electricidad a partir del gas metano que se produce en el relleno sanitario y es comercializado al Municipio de Ciudad Juárez para el alumbrado público a un costo menor por kWh que la tarifa de la CFE, en la Figura 3 se muestra los últimos 3 años de generación de energía eléctrica de dicha empresa(Público, 2014ab).



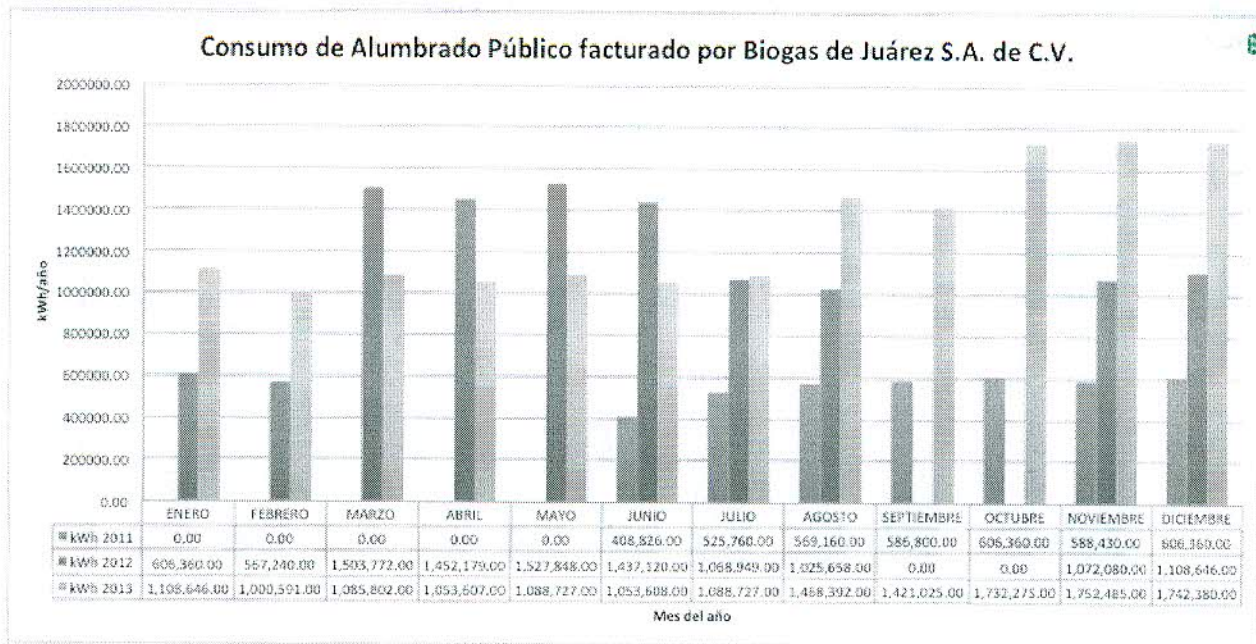


Figura 3. Consumo de Alumbrado Público a la empresa Biogas.

Para obtener el consumo total del alumbrado público es necesario sumar el consumo facturado por la CFE y el de Biogas de Juárez S.A. de C.V. como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Consumo total de Alumbrado Público.



IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Dos tipos de Alumbrado Público

De acuerdo al censo proporcionado por la Dirección de Alumbrado Público del 2012 (Dirección de Alumbrado Público, 2012aa; 2012bb) se identificó que co-existen en la actualidad 2 (dos) sistemas de alumbrado público en la ciudad.

1. El primer tipo de alumbrado público es aquel que se encuentra conectado de manera directa en la portería y red de la CFE, por lo cual no cuenta con subestación independiente, medición, ni con lo establecido en la normativa para la construcción de alumbrado público en la ciudad. Este tipo de alumbrado en los sucesivo se le denominará “No-Medido o Directo”
2. El segundo tipo de alumbrado público es aquel que se encuentra apegado a la normativa existente de la Dirección de Alumbrado Público, cuenta con su propia infraestructura: postes, subestación, cableado, gabinete de control y medición. Este tipo de alumbrado en los sucesivo se le denominará “Medido”

En las Figuras 5 y 6 se muestran los dos tipos de alumbrado público que co-existen en el Municipio de Juárez.



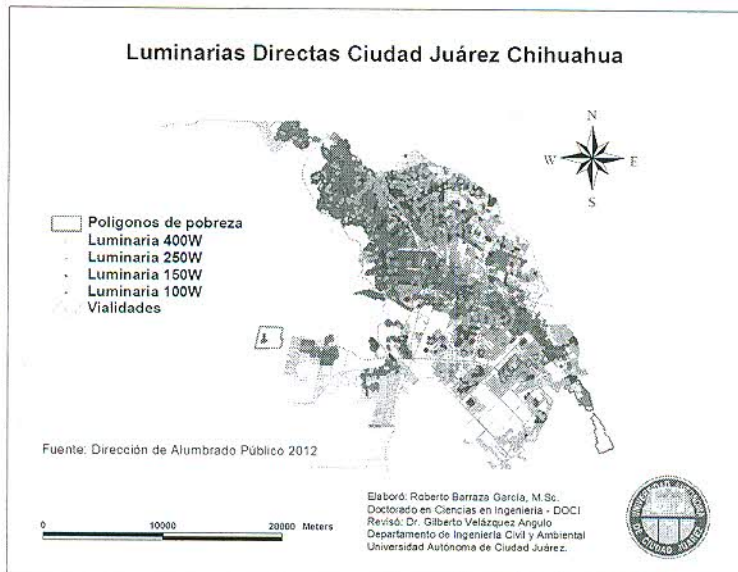


Figura 5. Sistema de Alumbrado Público "No-Medido o Directo".

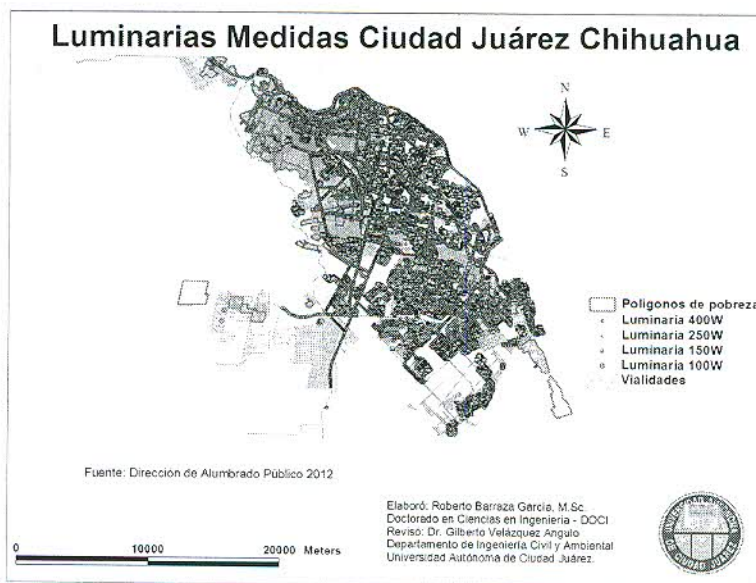


Figura 6. Sistema de Alumbrado Público "Medido".

DIRECCIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO
 CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA
 310000

Estimación del consumo eléctrico por parte de la CFE

La existencia del sistema de alumbrado no medido representa aproximadamente el 30% del total del sistema de alumbrado público. El consumo energético de este tipo de alumbrado tiene por naturaleza el ser estimado por la CFE independientemente que las luminarias se encuentren prendidas (incluso de día en algunos casos) o apagadas.

El Municipio de Juárez a través de la CFE cobra el impuesto al Derecho de Alumbrado Público (DAP) con el cual se debería cubrir los costos de consumo energético del alumbrado y las mejoras al mismo; sin embargo la realidad actual dista mucho de esto ya que al no tener medido al 100% el sistema no existe la certeza de la facturación de CFE al Municipio por concepto de Alumbrado Público.

Falta de un crecimiento compacto de la ciudad

El Municipio de Juárez ha crecido de una manera desordenada que ha impedido proveer los servicios públicos que la ciudadanía demanda con calidad. Esto conlleva a serios problemas no sólo en el tema del alumbrado público sino en otros como el transporte, pavimentación, drenaje, agua potable, centros de salud, escuelas, etc. (MIP, 2010a; 2013b; 2014ac; 2014bd). La Figura 7 muestra una fotografía satelital nocturna de Ciudad Juárez, Chihuahua y El Paso, Texas en donde se puede observar de manera clara lo abordado en este punto.

GOBIERNO MUNICIPAL 2013-2016

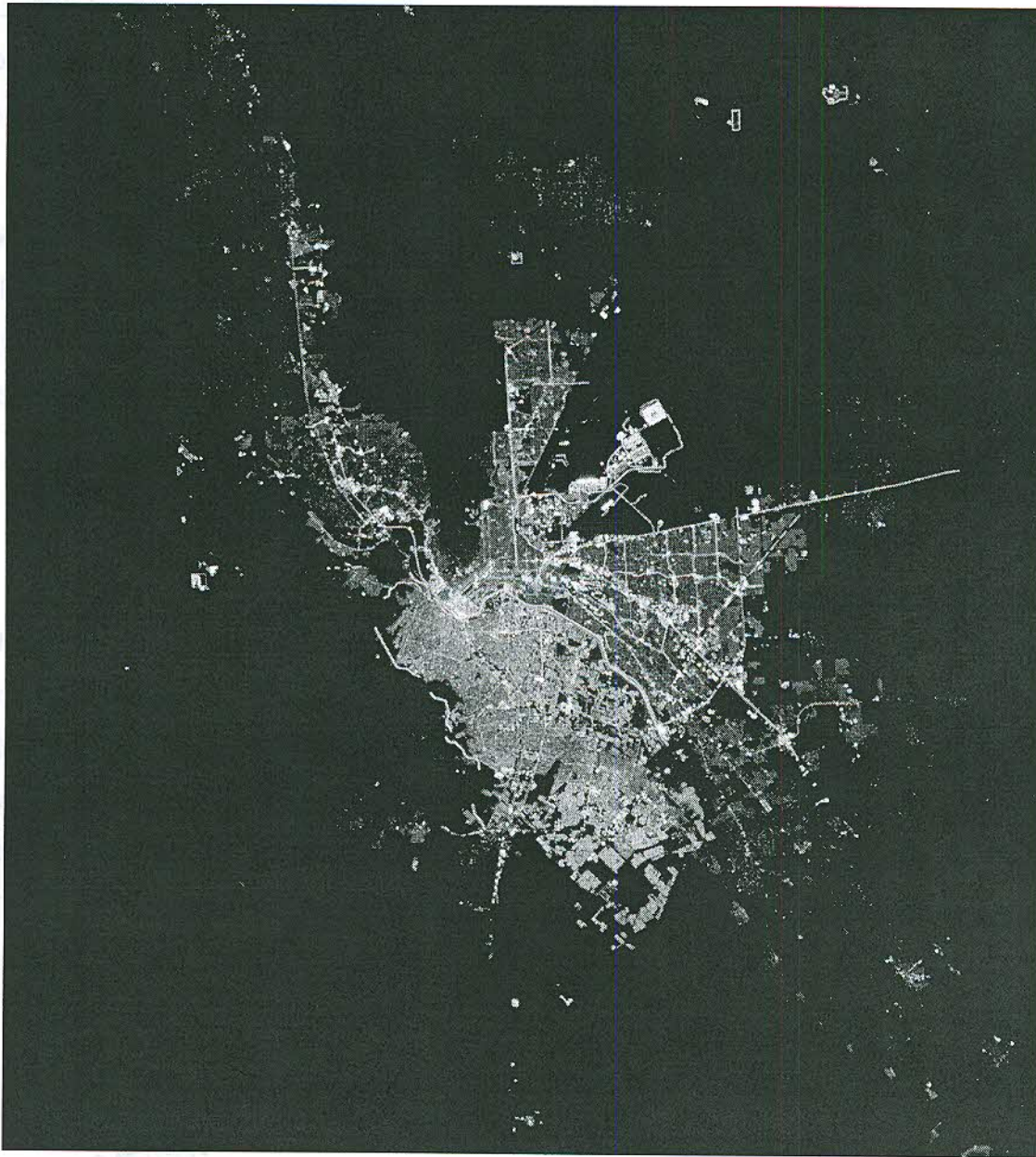


Figura 7. Alumbrado Público de Ciudad Juárez, Chihuahua en comparación con El Paso, Texas.

GOBIERNO MUNICIPAL 2013-2016

En Ciudad Juárez se tiene aproximadamente una luminaria por cada 15 habitantes (IMIP and CONAPRA, 2011) principalmente ligado al tema de seguridad; sin embargo actualmente los parámetros de eficiencia energética y mitigación al cambio climático (CC) se han convertido en variables claves para el diseño de modernos sistemas de alumbrado público.

Impacto ambiental - Mitigación y adaptación al Cambio Climático

El fenómeno del Cambio Climático se deriva principalmente por la quema de combustibles fósiles proveniente de las actividades antropogénicas. Si bien dicha actividades han representado una revolución en el avance tecnológico en beneficio de la sociedad, su uso irresponsable de dichos recursos ha traído consigo uno de los retos más grandes de la humanidad. De acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en su quinto reporte muestra evidencias científicas inequívocas que las actividades antropogénicas son las responsables de este fenómeno (IPCC, 2013aa; 2013bb).

Una línea clave es investigar por qué la política de los compromisos urbanos para hacer frente al cambio climático ha fracasado hasta ahora. Las explicaciones suelen describirse en términos de la capacidad institucional (relativa a la jurisdicción o los recursos de las autoridades municipales) y en términos de factores políticos (oportunidades para la dirección política o el grado en que hacer frente al cambio climático puede conciliarse con otros actores sociales y las preocupaciones económicas en la ciudad).

Recientes investigaciones en este campo sugieren que hay una necesidad de abordar la falta de capacidad técnica e institucional y los conflictos políticos que se han encontrado a nivel local, y que esto puede requerir de nuevas perspectivas y metodologías (Bulkeley, 2010).

En las últimas dos décadas, las ciudades han sido reconocidas por su importante rol para responder a los retos del CC. La creciente importancia en este campo de investigación es



TECNOLOGÍAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

El consumo de energía eléctrica de un sistema de alumbrado público puede ser disminuido con la utilización de tecnologías emergentes en iluminación y la administración de dicho sistema (Burgos-Payan et al., 2012), para lo cual es necesario realizar una inversión en particular con el objetivo de reducir el consumo energético manteniendo como mínimo la misma calidad en el servicio de alumbrado público, asegurar el suministro de luminarias y refacciones, así como la protección al medio ambiente.

Para lograr el objetivo de reducir el consumo de energía eléctrica y por consecuencia las emisiones de GEI causantes del cambio climático debemos tomar en consideración como primer factor las luminarias, las cuales deben cumplir con requerimientos muy específicos de acuerdo a la norma vigente en cada país para su operación. En México la Secretaría de Energía del Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) recomiendan utilizar las siguientes luminarias con el objetivo de mejorar la eficiencia energética del alumbrado público municipal:

1. Vapor de Sodio de Alta Presión (VSAP).
2. Vapor de Sodio de Alta Presión Cerámicos (VSAPC).
3. Aditivos Metálicos (ADM).
4. Aditivos Metálicos Cerámicos (ADMC).
5. Inducción Magnética (IM).
6. Diodos Emisores de Luz (LED, por sus siglas en inglés).

Es importante señalar que las tecnologías indicadas anteriormente no tienen carácter limitativo. Si el Gobierno Municipal a través de su reglamento de alumbrado público especifica el uso de otras tecnologías de iluminación no consideradas anteriormente, podrán indicar las modificaciones y/o ajustes que se requieran (mejoras tecnológicas en luminarias existentes como: Aditivos metálicos de doble filamento y LEDs). En la Tabla 2 se muestra un análisis comparativo del catálogo de tecnologías para alumbrado público recomendadas por la CONUEE.

Tabla 2. Análisis comparativo de las tecnologías de iluminación recomendadas por la CONUEE.

Concepto	VSAP	VSAPC	ADM	ADMC	IM	LED
Vida media (horas) ¹	24,000	22,000 a 36,000	10,000 a 15,000	18,000 a 30,000	100,000	50,000 a 100,000
Potencia Nominal (W)	35 a 400	50 a 600	35 a 400	45 a 140	40 a 400	68 a 136
Eficacia Luminosa (lm/W) ²	45 a 150	83 a 150	75 a 125	96 a 118	66 a 86	90 a 130
Mantenimiento de Lúmenes (%) ³	80	90	60	89	70	70
Índice de Rendimiento de Color (CRI) ⁴	22	25	65	66	80	65 a 90
Temperatura de Color (K) ⁵	1,900 a 2,200	2,000	2,500 a 5,000	2,720 a 2,860	3,500 a 4,100	2700 a 5,700
Encendido (minutos)	3 a 5	2 a 3	3 a 5	2 a 3	<1	<1
Re-encendido (minutos)	3 a 5	3 a 5	5 a 10	3 a 5	<1	<1
Pérdida por equipo auxiliar (%) ⁶	8 a 38	6 a 15	8 a 47	6 a 15	6 a 15	6 a 15

¹ La vida media de los luminarias LED se considera que se ha alcanzado, cuando el flujo luminoso es inferior al 70% del flujo luminoso inicial; para las demás tecnologías se considera cuando el 50% de las luminarias puestas bajo prueba se encuentran apagadas.

² Eficacia de la fuente luminosa sin considerar las pérdidas en el balastro o fuente y la eficiencia óptica.

³ El mantenimiento de lúmenes, es la capacidad de la fuente luminosa de mantener su flujo luminoso inicial a lo largo de su vida útil. Se calcula a partir del flujo luminoso al final de su vida media, dividido entre el flujo luminoso inicial; por lo tanto se expresa en porcentaje.



⁴ El índice de rendimiento de color, es la capacidad de la fuente de luz para reproducir los colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz de referencia. Cuanto más próximo este el índice CRI = 100 (dado a la luz solar), más fielmente serán los colores observados.

⁵ La temperatura de color es una medida en grados Kelvin (K), y cuanto mayor sea el número, más frío es el color de la luz de la lámpara. Por ejemplo una lámpara con temperatura de color de 2700K tiene tonalidad cálida y una de 7000K tiene tonalidad muy fría.

⁶ Pérdida por equipo auxiliar se refiere al equipo adicional necesario para encender la luminaria; en el caso de las luminarias por descarga necesitan de un balastro para su funcionamiento, el cual es un dispositivo electromagnético o electrónico que limita la corriente a las luminarias y cuando es necesario, la tensión y corriente de encendido. En el caso de las luminarias LED requieren de un convertidor de AC/DC.

SECRETARÍA DE PLANEACIÓN Y
EVALUACIÓN

Vapor de Sodio de Alta Presión (VSAP): Este tipo de luminarias tienen una eficiencia lumínica es bastante buena, así como su mantenimiento de lúmenes a lo largo de su vida útil relativamente corta. No es sensible a las variaciones eléctricas transitorias; sus desventajas es que su encendido y re-encendido son lentos (3 a 5 minutos), el color de luz que producen es amarilla y no se reproducen bien los colores, por tener un índice de rendimiento de color bastante bajo; el control del flujo luminoso en el luminario se considera medio. Requiere para su funcionamiento de un balastro electromagnético, el cual consume el 25% de la potencia de la luminaria. La Figura 10 muestra la percepción visual de dicha tecnología de iluminación que se encuentra instalada en el sistema de alumbrado actualmente.



Figura 10. Percepción visual con luminarias de vapor de sodio a alta presión (VSAP).

Aditivos Metálicos: La tecnología de aditivos metálicos tiene una vida útil de 40,000 horas, una eficiencia lumínica muy buena, además de que al ser luminarias de menor tamaño, es muy fácil controlar la luz del luminario, su índice de color es alto y la luz que producen es blanca. Las desventajas de esta tecnología es que no es compatible entre fabricantes, requiere para su funcionamiento de un balastro electromagnético, el cual consume el 25% de la potencia de la luminaria. Para su desempeño óptimo requiere de un balastro electrónico que consume un 5-10% la potencia de la luminaria. La Figura 11 muestra la percepción visual de dicha tecnología de iluminación.

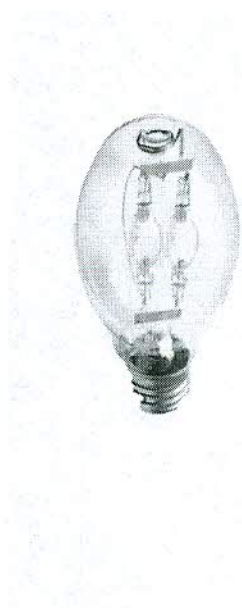


Figura 11. Percepción visual con luminarias de aditivos metálicos.



Diodos Emisores de Luz (LED): La aplicación de los diodos emisores de luz en el alumbrado público es la tecnología más reciente, tiene una vida útil que se cataloga de excelente en el orden de las 50,000 - 100,000 horas dependiendo de la temperatura de operación. El índice de color es excelente lo que favorece a la reproducción fiel de los colores; la luz que produce es blanca; el encendido y re-encendido es instantáneo, se considera amigable con el medio ambiente por no contener mercurio. Las desventajas de esta tecnología es que existen diferencias notorias entre cada fabricante, es decir no son homogéneos, así como la vida útil de dicha luminaria se ve disminuida cuando se trabaja a altas temperaturas, por lo que requieren de un buen diseño para la disipación de calor. Requiere de un dispositivo para transformar la corriente alterna en corriente directa que puede llegar a consumir alrededor del 5% de la potencia de la luminaria. La Figura 12 muestra la percepción visual de dicha tecnología de iluminación.

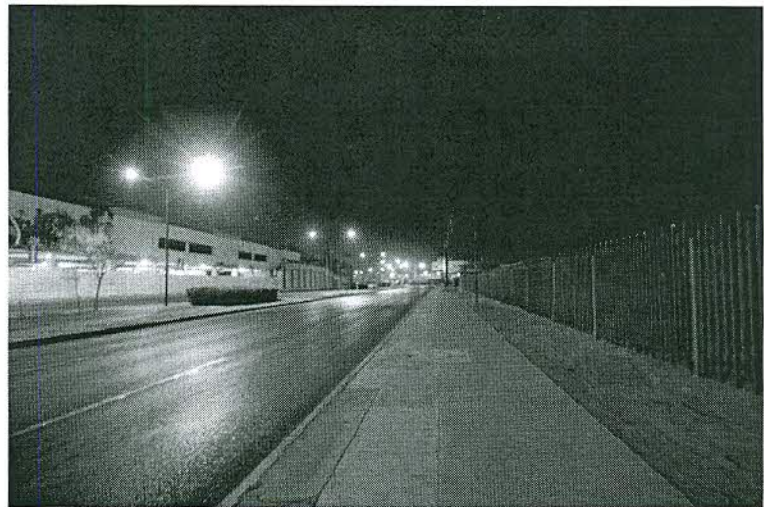
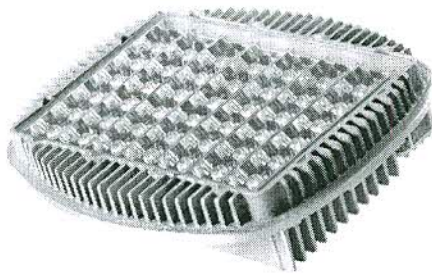


Figura 12. Percepción visual con luminarias LEDs.



GOBIERNO MUNICIPAL 2013-2016

En 1924 se caracterizó la curva de sensibilidad del ojo humano pero desde entonces se sabía que la sensibilidad del ojo es multifactorial. En ese año se determinó la curva con niveles de iluminación altos (P o fotópica) y poco después se dio a conocer la curva con niveles bajos (S o escotópica). Pasaron varias décadas para que investigadores de todo el mundo confirmaran teórica y prácticamente que en realidad ambas sensibilidades están presentes en todas las aplicaciones, pero que en una condición dada una de ellas es la que domina. A la curva intermedia se le llamó mesópica (M) y es hoy la base de los criterios modernos de diseño y evaluación de los sistemas de alumbrado público.

Con los modernos equipos actuales como radiómetros y espectrómetros es relativamente fácil caracterizar a las principales fuentes de luz, incluyendo al sol. También desde hace mucho tiempo ha habido controversia sobre si lo que debe evaluarse es la luminancia, la iluminancia o ambas, porque los criterios americanos y los europeos difieren no sólo en el rango donde se debe aplicar el criterio mesópico sino también en otras variables como la importancia o no de la velocidad a la que transitan los vehículos. Una de las variables que ha sido la base de los estudios desde 1980 ha sido la relación S/P que relaciona a una curva con la otra. La S/P depende de la curva de distribución espectral de la fuente luminosa y está fuertemente influenciada por la temperatura de color y el índice de rendimiento de color.

La luz natural es muy variable porque entre otras cosas depende de la estación del año, la ubicación geográfica, las condiciones climatológicas y la hora del día. En fuentes de luz artificial es relativamente fácil determinar la relación S/P porque hay numerosos estudios al respecto con tablas que muestran los valores típicos para cada tipo de lámpara, valores que cotidianamente hemos comprobado en México.

La relación S/P se usa para hacer una corrección indirecta de la sensibilidad del ojo humano y encontrar así la luz que realmente percibimos. Hay varios métodos que usan la relación S/P con diferentes exponentes de acuerdo a la aplicación. Es un método muy útil y comprobable

GOBIERNO MUNICIPAL 2013-2016

MUNICIPAL
JUAREZ
HUAHUCA

para hacer las correcciones en iluminación interior pasando de los niveles de iluminación teóricos a los niveles reales.

El reto es explicar por qué cuando en iluminación se usan fuentes de luz modernas como LEDs, los propietarios, los usuarios, los empleados y hasta las ventas muestran un efecto positivo pero los luxómetros convencionales calibrados para medir sólo iluminancia fotópica arrojan lecturas tan bajas que los proyectos pueden hasta incumplir las normas y/o recomendaciones. Desafortunadamente este método de corrección tan directo y comprobable, aplica para interiores y no para alumbrado público.

Las nuevas tecnologías como los súper sodios, los aditivos cerámicos y sobre todo las de luz blanca sin electrodos como inducción y LEDs requieren de una evaluación más compleja pero más justa (Ramirez, 2013).

La evaluación de los sistemas de alumbrado público modernos requiere de algunos ajustes de los criterios antiguos. Los ajustes necesariamente indican una reducción de leve a moderada de la luz amarilla y un aumento de moderado a medio con luz blanca para el mismo efecto visual, dependiendo de la fuente de luz. Hacer estos ajustes nos lleva a la posibilidad de subdimensionar los equipos de luz blanca, permitiendo ahorrar energía entre 30 y 60%, porque a menor potencia menor consumo de energía y menor impacto ambiental. La IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) es para muchos la organización líder en el mundo en cuestiones de iluminación pero México tiene convenios internacionales que lo hacen apearse más a la CIE (International Commission on illumination) .

Desde hace décadas se han hecho estudios en diferentes países, principalmente en EEUU y la Unión Europea, pero la CIE ha publicado finalmente a partir de 2010 numerosos documentos sobre la importancia y necesidad de la evaluación bajo criterios mesópicos (CONUEE, 2010; Hartley et al., 2009; Lukman and Krajnc, 2011; Ramirez, 2013).





GOBIERNO MUNICIPAL 2013-2016

La Figura 13 muestra la Depreciación de Lúmenes de Lámpara (DLL) y Coeficiente de Utilización (CU) para diferentes tecnologías empleadas en el alumbrado público. Esta comparación de luminarias bajo nuevos parámetros más complejos pero justos nos permite determinar cuales tecnologías son las más adecuadas para el Municipio de Juárez. En dicha Figura se muestra que los Aditivos metálicos cerámicos (VAM C) y de pulso de doble filamento (VAM P 2F) y las luminarias LED poseen la ventaja de una depreciación de lúmenes muy lenta y un coeficiente de utilización alto siendo superior en estos rubros la tecnología LED.

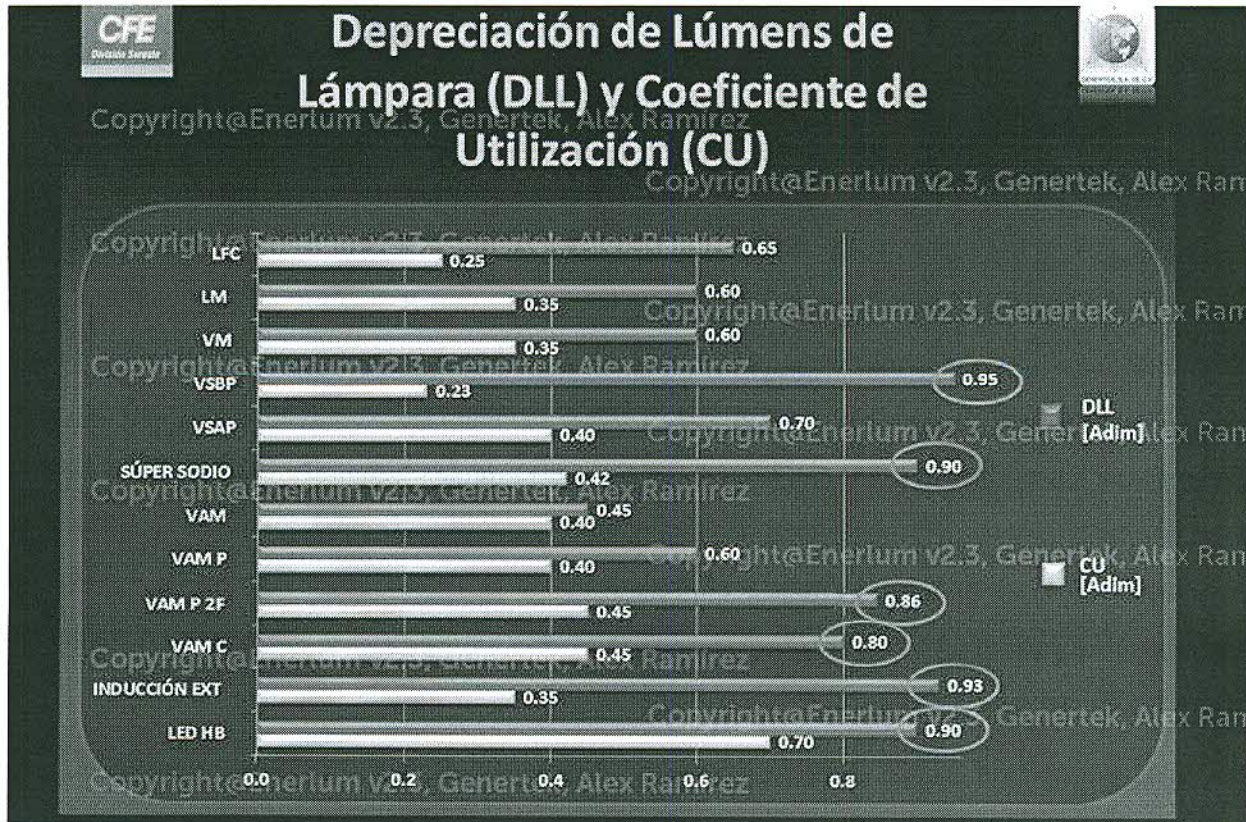


Figura 13. Depreciación de lúmenes de lámpara y coeficiente de utilización (Ramirez, 2013).

GOBIERNO MUNICIPAL 2013-2016

GOBIERNO MUNICIPAL
 CIUDAD JUÁREZ
 COAHUILA DE ZARAGOZA

La Figura 14 muestra el Costo de Operación Anual / Inversión inicial. En dicha Figura se muestra que los Aditivos metálicos cerámicos (VAM C) y de pulso de doble filamento (VAM P 2F) y las luminarias LED poseen la ventaja de mostrar un valor por debajo de 1 en este indicador, siendo superior en este índice la tecnología LED.

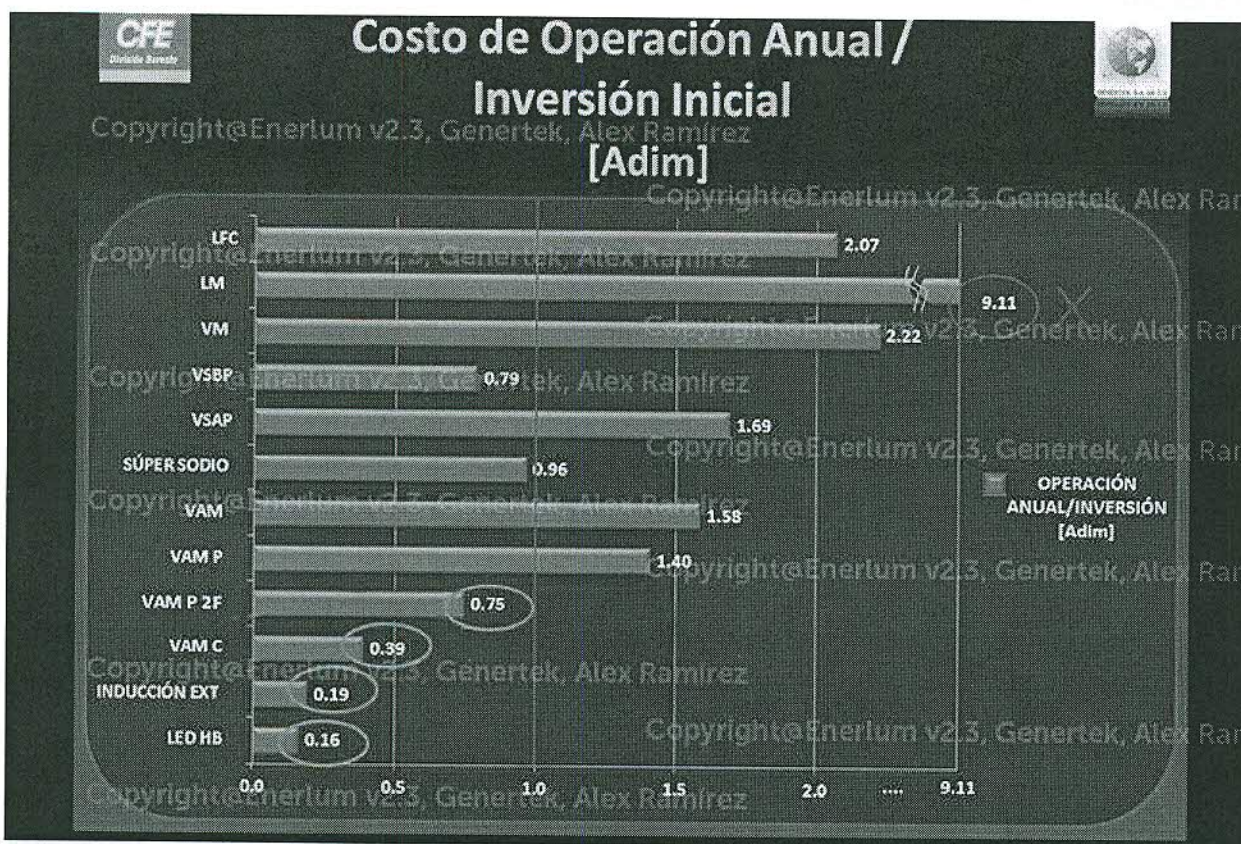


Figura 14. Costo de operación anual/inversión inicial (Ramirez, 2013).


 SECRETARÍA
 DEL H. AYUNTAMIENTO
COTEJADO

GOBIERNO MUNICIPAL 2013-2016

La Figura 15 muestra los índices energéticos fotópico (día) y mesópico (noche) que como se observó anteriormente en esta sección es uno de los parámetros más importantes para comparar las mejores alternativas de tecnologías de alumbrado público tomando en cuenta el funcionamiento del ojo humano bajo diferentes condiciones de iluminación (día y noche) En dicha Figura se muestra que los Aditivos metálicos cerámicos (VAM C) y de pulso de doble filamento (VAM P 2F) emiten una cantidad muy similar de lúmenes fotópicos y mesópicos sólo superada por la tecnología LED la cual muestra un ventaja como la tecnología más avanzada en este momento para la iluminación de noche, condición en la que opera el sistema de alumbrado público.

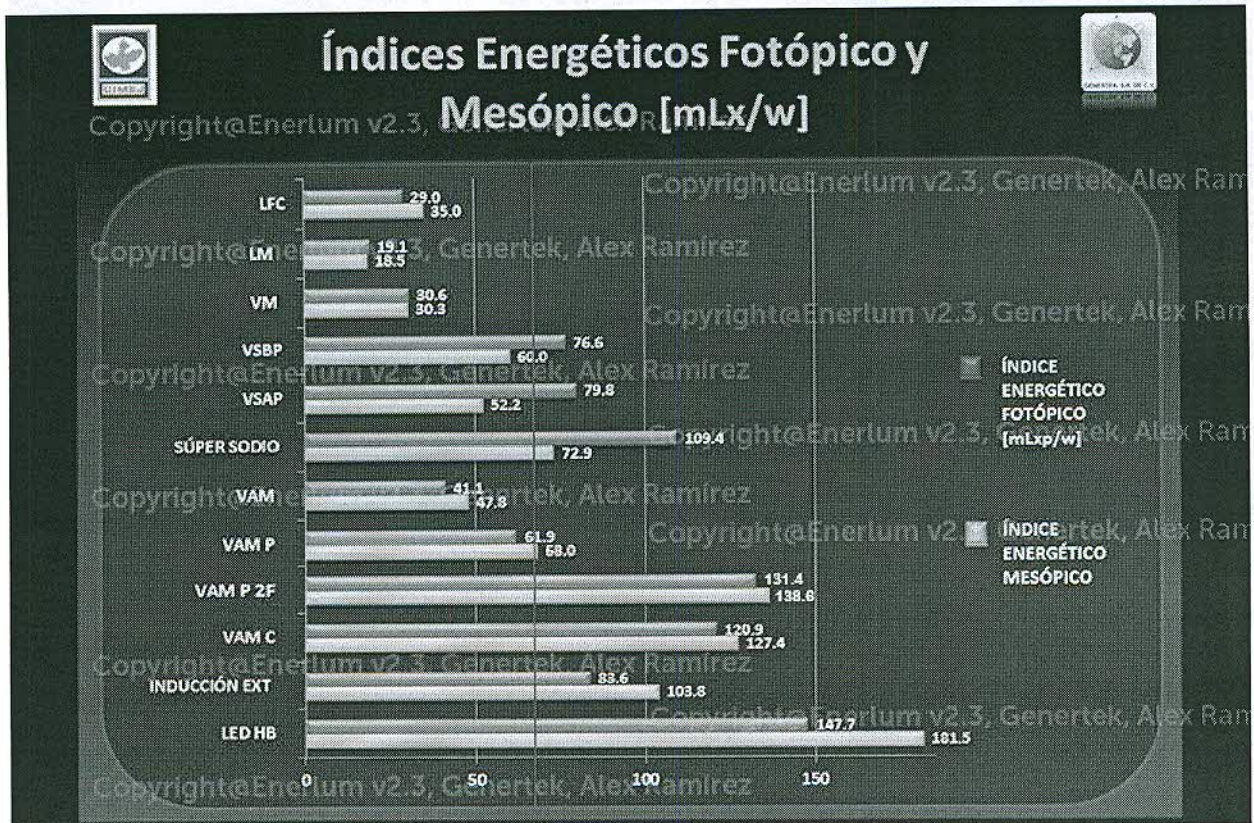


Figura 15. Índices energéticos fotópico y mesópico (Ramirez, 2013).