

Desviaciones en la determinación de la energía en instalaciones de alumbrado público sin medidor

Por
**Paola Andrade Cadena y
Leonardo Assaf**
Departamento de
Luminotecnia, Luz y Visión
Universidad Nacional de
Tucumán

Análisis de ocho casos en Latinoamérica

Resumen

El objetivo del presente trabajo es analizar los métodos de determinación del consumo en instalaciones de alumbrado público sin medidor de energía. Se estudiaron las desviaciones de diferentes métodos empleados en ocho países de Latinoamérica. Se contrastaron los valores calculados por cada método con datos obtenidos en laboratorio, con voltaje estabilizado y voltaje de red (variable) con tiempo de conexión controlado. Como conclusión, se observa una gran disparidad y arbitrariedad de criterios aplicados, dependiendo del método de cálculo que se emplea. Respecto a valores medidos, se presentan errores en la determinación del consumo que exceden el 20%.

Palabras clave

Consumo, energía eléctrica, alumbrado público.

Introducción

El alumbrado público demanda cantidades significativas de energía eléctrica del sistema eléctrico de un país, por ejemplo, durante el año 2014, el consumo en México fue de 5.225 GWh; el de Argentina, 4.036, y el de Ecuador, 1023, representando el 2,5,

3,6 y 5,6% respectivamente del total de energía. Se trata de un requerimiento considerable de recursos económicos, los cuales son finalmente asumidos por los usuarios. Una determinación precisa del consumo permitirá resguardar la eficiencia del sistema, el uso racional de la energía y el interés de los usuarios.

El consumo de una instalación está determinado por la energía disipada en cada luminaria instalada, la cual es afectada significativamente por la potencia de la lámpara y equipo auxiliar, la tensión de alimentación y el tiempo de funcionamiento. Para evitar gastos de instalación de puestos de medición y su lectura periódica, en muchas instalaciones se proponen cálculos numéricos para determinar el consumo. Una búsqueda exhaustiva de métodos de estimación de energía permitió registrar los empleados en Brasil, Colombia, Ecuador, El Salvador, Guatemala, México, Nicaragua y Argentina. A continuación, se expone y analiza cada uno de ellos.

Métodos de cálculo

Brasil

La Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), en la Resolución Normativa N° 414 del 9 de septiembre de 2010, actualizada en el año 2012, considera la potencia instalada –incluye equipos

auxiliares, cuyo consumo se calcula con base en las normas especificadas por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas, ABNT, datos del fabricante o pruebas realizadas en laboratorios acreditados por el organismo oficial (el tiempo de conexión de las instalaciones está establecido en 11 horas y 52 minutos diarios, excepto en los casos que se requiera del servicio las 24 horas del día)–. El consumo de energía se calcula por la ecuación (1).

$$(1) CE = P \cdot t$$

donde “CE” es el consumo de energía; “P”, la potencia instalada, y “t”, el tiempo de funcionamiento diario.

Colombia

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) establece, en la Resolución N° 123 de 2011, que el consumo se determinará en base a la carga resultante de la cantidad de las luminarias que se encuentren en funcionamiento, multiplicada por un factor de utilización expresado en horas por día y por el número de días del período de facturación utilizado para el cobro, aplicando la siguiente fórmula (2) para cada nivel de voltaje “n”:

$$(2) CEE_n = \sum_{i=1}^3 (Q_{n,i} \cdot T_{n,i} \cdot DPF_n)$$

donde “CEE_n” es el consumo de energía eléctrica en el nivel de voltaje “n” en kilowatt por hora; “n”, el nivel de voltaje (equivale a 1 en sistemas con voltaje nominal menor a 1 kV, y a 2 en sistemas con voltaje nominal mayor o igual a 1 kV y menor de 30); “i”, la iluminación (igual a 1 para vías vehiculares, a 2 para vías para tráfico peatonal y ciclistas, y a 3 para otras áreas de espacio público); “Q_{n,i}”, la carga instalada (corresponde a la carga en kilowatts de las luminarias –lámparas y equipos auxiliares– de los sistemas de alumbrado público, puestos en funcionamiento en el nivel de voltaje “n”, de la clase de iluminación “i”).

“T_{n,i}” es el número de horas del período de facturación de las luminarias en el nivel de voltaje “n” de la clase de iluminación “i”. De acuerdo con las condiciones generales de operación de los sistemas



de iluminación de las vías vehiculares y de las vías para tráfico peatonal y ciclistas, las horas de prestación del servicio se establecen entre las 6 pm y las 6 am, el número de horas es entonces igual a doce por día. Para la iluminación de otras áreas del espacio público a cargo del municipio, cuyas condiciones generales de operación son diferentes a doce por día, el municipio podrá pactar con la empresa comercializadora que suministre la energía eléctrica el número de horas al día correspondiente. Se debe descontar el número de horas durante las cuales el alumbrado público estuvo fuera de servicio por ausencia de fluido eléctrico.

“DPF_n” es el número de días del período de facturación acordado entre el municipio y la empresa comercializadora que suministra la energía eléctrica, para las diferentes clases de iluminación que componen el sistema de alumbrado público instaladas en el nivel de voltaje “n”.

Ecuador

El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), en la Regulación N° CONELEC 005/14 “Prestación del servicio de alumbrado público general”, vigente desde del 18 de septiembre de 2014, establece que el consumo se determinará mensualmente con base a la carga resultante de la cantidad de luminarias por tipo que se encuentren instaladas en el primario, multiplicados por un factor de utilización y por número de horas del mes respectivo, aplicando la siguiente fórmula (3):

$$(3) E = [T - (T_f \cdot T_{ap})] \sum_{i=1}^n (P_i + CA_i) \cdot N_i \cdot f_{ui}$$

donde “E” es el consumo mensual; “i”, el tipo de luminaria en el primario; “P_i”, la potencia de las luminaria tipo “i”; “N_i”, el número de luminarias tipo “i” en el primario; “f_{ui}”, la relación entre el número de horas promedio que las luminarias de alumbrado público permanecen encendidas y el número total de horas en el periodo de análisis (24 horas diarias), y “T”, el número de horas del mes de cálculo (en caso de que hubiere interrupciones, a nivel del sistema o primarias, se descontarán esas horas). “T_{ap}” es el tiempo promedio –en horas– de atención de fallas de alumbrado público general; su valor se calcula como la sumatoria del tiempo real de atención de las luminarias de alumbrado público general que fueron reportadas como falladas, dividido por el número de luminarias reportadas como falladas en el mes.

“T_f” es la tasa de falla del sistema, calculada como el promedio ponderado de las tasas de falla mensuales de todos los primarios, siendo el factor ponderador el número total de luminarias por primario dividido por el número total de luminarias de la empresa. Para fines de calidad, la tasa de falla del sistema no podrá ser superior a 0,02.

La tasa de falla mensual por primario es la relación entre el número de luminarias en falla y el número de luminarias totales; el número total de luminarias corresponderá a las registradas por la empresa distribuidora al inicio del mes, mientras que las luminarias en falla corresponderán a la suma de todas las luminarias reportadas como falladas durante el mes de cálculo. El registro mensual de luminarias falladas se generará a partir de reclamos realizados por los consumidores y de las inspecciones mensuales que debe realizar la empresa distribuidora para identificar luminarias en falla.

Una luminaria se considera “en falla” si es reportada como apagada durante el tiempo en que está programada para funcionar, sin importar el tiempo que haya permanecido en ese estado; si es reportada como encendida durante el tiempo en que está programada para estar apagada, o si presenta un comportamiento intermitente en cualquier hora del día. En caso de que la empresa distribuidora no disponga de información de uno o más alimentadores, la tasa de falla para esos alimentadores será de 0,04, afectado por una constante cuyo valor depende del número

de meses consecutivos en los que la empresa distribuidora no cuente con dicha información, según se indica a continuación, fórmula (4):

$$(4) T_f = 0,04 (1 + x)$$

donde “x” tendrá los valores presentados en la tabla 1.

Meses consecutivos sin información	x
2 meses	0,25
3 meses	0,5
4 meses	0,75
Más de 4 meses	1

Tabla 1. Valores de constante x

“Ca_i” es el consumo de auxiliares de luminaria tipo “i”. El valor máximo a reconocerse por consumos auxiliares dependerá de la potencia de la lámpara instalada, de acuerdo a la tabla 2.

Potencia	Potencia máxima en auxiliares
Menos de 70 W	16%
De 71 a 100 W	15%
De 101 a 150 W	13%
Mayor a 150 W	12%

Tabla 2. Potencia de equipos auxiliares

La energía total se calculará como la sumatoria de la energía consumida por el alumbrado público de todos los primarios, calculada como se señaló anteriormente.

El Salvador

La denominada “Normativa para la facturación del servicio de alumbrado público”, de la Superintendencia General de Electricidad (Acuerdo N° 49-E-2000 y sus modificaciones al artículo 7, en el año 2000, y artículo 5, en el año 2012, conforme a Acuerdo N° 60-E-2000, de año 2000, y Acuerdo N° 936-E-2012, de 2012) especifica el consumo promedio mensual de luminaria con lámpara de tipo incandescente, fluorescente, vapor de mercurio, sodio de alta presión y led (tabla 3).

Tipo de lámpara	Potencia promedio	Consumo promedio
Incandescentes	25 W	10 kWh
	40 W	16 kWh
	60 W	24 kWh
	100 W	40 kWh
	200 W	80 kWh
	300 W	120 kWh
Fluorescentes	20 W	6,1 kWh
	32 W	10,4 kWh
	40 W	12,0 kWh
	55 W	15,9 kWh
	65 W	18,2 kWh
	2 x 40 W	37 kWh
	4 x 40 W	74 kWh
Vapor de mercurio	175 W	63,4 kWh
	250 W	74 kWh
	400 W	125 kWh
Sodio de alta presión	100 W	37 kWh
	175 W	55 kWh
	250 W	88 kWh

Tabla 3. Consumo promedio mensual y potencia promedio

Para el consumo promedio mensual de lámparas diferentes a las señaladas en la tabla 3, se empleará la fórmula (5):

$$(5) CM = (W \cdot NHR \cdot FP) / 1.000$$

donde "CM" es el consumo mensual de cada lámpara en kilowatt por hora; "W", la potencia nominal de la lámpara en watts; "NHR", el número de horas de referencia para la operación de la lámpara en un mes de treinta días (se establecerá que la lámpara operará en forma continua durante doce horas al día, por lo cual NHR es igual a 12 • 30, es decir, 360 horas); "FP", el factor de potencia 0,90, y "1.000", la conversión a kilowatt.

El consumo total será la sumatoria del producto del consumo promedio mensual del tipo de lámparas instaladas, y número de lámparas.

$$(6) \sum_{i=1}^n CM_i L_i$$

donde "CM_i" es el consumo promedio mensual de lámparas instaladas del tipo "i", y "L_i", el número de lámpara del tipo "i".

Guatemala

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), durante el periodo 2013-2015, emitió resoluciones en donde aprueba que con uso de doce horas diarias, el consumo mensual se calculará multiplicando la potencia de luminaria por un factor, durante doce horas diarias y número de días del mes.

$$(7) CE = (P \cdot f \cdot 12 \cdot \text{días}) / 1.000$$

donde "CE" es el consumo de energía mensual en kilowatts por hora; "P", la potencia de lámpara en watts; "f", el factor de acuerdo a cada empresa distribidora (se encuentra entre 1,017695 y 1,216405); "12", las horas de servicio diarias; "días", los días del mes a determinar la energía consumida –mes anterior a la fecha de facturación–, y "1.000", la conversión a kilowatt.

En particular, para las distribuidoras de electricidad de oriente y occidente del país, se fija un coeficiente para ajustar la potencia de la lámpara (tabla 4).

Empresa distribidora	Coeficiente
Distribuidora de Electricidad de Oriente SA	1,018521
Distribuidora de Electricidad de Occidente SA	Municipalidad de Pajapita, Depto. de San Marcos Resto del área de servicio
	1,016942

Tabla 4. Coeficiente de ajuste de la potencia de lámpara

México

La Comisión Federal de Electricidad (CFE), en el año 2004, en su "Instructivo para la interpretación y aplicación de las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica", menciona que el consumo es el resultado del producto entre la carga total conectada en watts, más un factor de consumo del equipo auxiliar 1,25 –25%–, doce horas de servicio diarias y 30,4 días al mes.

$$(8) C = P \cdot 1,25 \cdot h \cdot d$$

donde "C" es el consumo de energía; "P", la carga total conectada; "1,25", el consumo de equipo auxiliar, y "h", las horas de servicio diario (doce horas).

Nicaragua

El Ministerio de Energía y Minas aprobó en el año 2010 la “Normativa de alumbrado público”, en la cual establece que la energía mensual consumida por cada tipo de lámpara, reflejado en el inventario existente de la red de alumbrado público, se calculará multiplicando la carga nominal del inventario físico de luminarias, por un período de doce horas diarias, por 365 días del año, por el factor de luminarias encendidas que, para este cálculo, es 0,95, factor que considera el 5% de fallas de luminarias. El producto resultante se dividirá entre doce meses del año según fórmula descrita a continuación (9):

$$(9) \text{ kWh/mes} = (\text{CNL} \cdot 12 \cdot 365 \cdot 0,95) / 12$$

donde “CNL” es la carga nominal de luminarias en kilowatts.

En la tabla 5, se establecen los valores de la potencia nominal para algunas luminarias con lámpara de mercurio y sodio.

Tipo de lámpara	Potencia de la lámpara	Carga del balasto	Carga nominal de la luminaria
Mercurio	100 W	17 W	117 W
Mercurio	125 W	24 W	149 W
Mercurio	175 W	4 W	179 W
Mercurio	250 W	8 W	258 W
Mercurio	400 W	19 W	419 W
Sodio	70 W	16 W	86 W
Sodio	100 W	23 W	123 W
Sodio	150 W	20 W	170 W
Sodio	250 W	25 W	275 W
Sodio	400 W	42 W	442 W

Tabla 5. Tipo y potencia de lámpara, carga del balasto y carga nominal de luminaria

Argentina

En Argentina, no hay un método de cálculo a nivel nacional. En la ciudad de Rosario, provincia de Santa Fe, de acuerdo a la información proporcionada por la Dirección General de Alumbrado Público de la municipalidad, el consumo es el resultado del producto de la potencia de la lámpara, un factor por consumo de equipos auxiliares, horas diarias de servicio y días de funcionamiento, en una ecuación simple (10):

$$(10) C = P \cdot 1,1 \cdot 11 \cdot d$$

donde “C” es el consumo de energía; “P”, la potencia nominal de lámpara; “1,1”, el factor aplicable a las lámparas que requieren de equipo auxiliar para su funcionamiento –promedio entre las distintas marcas de equipos auxiliares que existen en Rosario–; “11”, las horas diarias de servicio –promedio entre invierno y verano–, y “d”, los días de funcionamiento mensual (30) o anual (365).

Contraste de los métodos de cálculo con medición

En el laboratorio del Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión de la Universidad Nacional de Tucumán, se midió el consumo de energía de cinco luminarias con lámparas de sodio de alta presión de 250 W y equipos auxiliares normalizados, con voltaje de alimentación de red y tiempo de funcionamiento definido (11, 11:52 y 12 horas; dado que son los intervalos considerados en los métodos descritos en el numeral 2).

La medición se realizó a través de un contador de energía, marca Galileo, normalizado, que mide la energía activa por integración de la potencia activa en función del tiempo. Esto es (11):

$$(11) E = \int_0^T P(t) \cdot dt$$

donde “E” es la energía eléctrica; “P(t)”, la potencia activa, y “T”, el tiempo de funcionamiento.

Resultados

En la tabla 6 se presentan los valores de consumo estimado para un arreglo de cinco luminarias con lámparas de sodio de alta presión de 250 W, de acuerdo a cada método de cálculo.

La figura 1 establece las desviaciones entre los valores de consumo estimado respecto a los medidos.

Conclusiones

La dispersión que se presenta entre los diferentes métodos es consecuencia de las potencias que se asignan a lámparas y equipos auxiliares, tiempo de conexión y la consideración o no de luminarias

Método	Consumo medido	Consumo estimado
Brasil	559 kWh	489,5 kWh
Colombia	566,8 kWh	495 kWh
Ecuador	566,8 kWh	504 kWh
El Salvador	566,8 kWh	440 kWh
Guatemala	566,8 kWh	531,3 kWh
México	566,8 kWh	570 kWh
Nicaragua	566,8 kWh	476,8 kWh
Rosario	519,6 kWh	453,8 kWh

Tabla 6. Consumo estimado y medido para cinco luminarias

fuera de servicio. También el resultado está influido por consideraciones ajenas y arbitrarias.

- » Potencia: los métodos consideran que la potencia instalada es constante e igual a la potencia nominal informada en placa de los equipos. Esto no es así, tanto lámparas como equipos auxiliares tienen una dispersión en la fabricación, la cual es admitida aun por las normas. En la ciudad de Rosario, se considera una potencia de equipos auxiliares plano equivalente al 10% de la de lámpara. En el caso de El Salvador, se establece una tabla cuyos valores son arbitrarios. Tampoco se toma en cuenta los efectos en el consumo debido a fluctuaciones de la tensión de alimentación.
- » Tiempo de conexión: existe coincidencia en considerar el tiempo de conexión en 12 horas, salvo Brasil (11:52 h) y Rosario (11 h). Considerar

que la carga de alumbrado público está conectada un solo tiempo de conexión diario solo es admisible sobre una base anual, no mensual, ya que la diferencia entre los meses de días de invierno y verano se acentúa por la latitud, a medida que nos alejamos del Ecuador y, en consecuencia, aumentan los errores del cálculo mensual.

La fórmula vigente en Ecuador es compleja, e incluye penalizaciones por falta de información de luminarias fuera de servicio que se expresan como un aumento del consumo, lo cual es arbitrario.

La fórmula usada en México presenta la menor desviación (sobrec consumo), en tanto El Salvador muestra un subconsumo con la mayor desviación, esto probablemente debido a los valores de potencia de los equipos que el método especifica.❖

Nota del editor

La nota técnica aquí publicada está respaldada por una extensa bibliografía cuyas referencias no se publican por normas editoriales. Por consultas de esta índole, o cualquier otra acerca de la temática tratada, consultar a los autores.

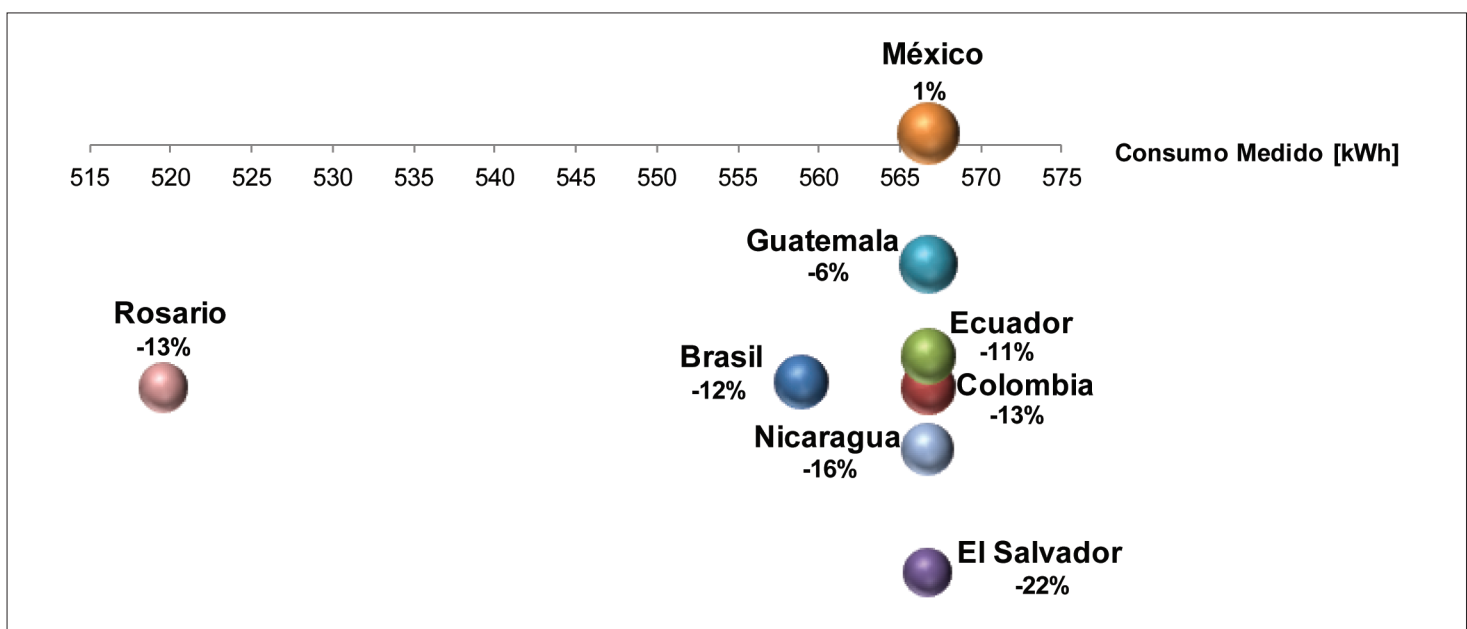


Figura 1. Desviaciones de consumo estimado respecto al medido