

Power and energy losses calculation methodology in the public lighting system of Ecuador

Metodología de cálculo de pérdidas de potencia y energía en el sistema de alumbrado público del Ecuador

R. A. Ayala¹

P. E. Otero¹

V. E. Calle²

¹Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

E-mail: robinson.ayala@epn.edu.ec; patricia.otero@epn.edu.ec

²Agencia de Regulación y Control de Electricidad, Ecuador

E-mail: emilio.calle@regulacionelectrica.gob.ec

Abstract

The purpose of this study is to analyze the losses due to electric energy consumption in the auxiliary equipment in the public lighting system of Ecuador and its operation time. It starts with the treatment of the information from georeferenced databases, presented by the electric utility companies to the Electricity Regulation and Control Agency. With dedicated software help, the information is processed, and the luminaires are stratified using as criteria the power and light source type. A second analysis studies the operating time using the time equation. The results of these analyzes serve to calculate the energy and power consumption in the luminaires and their auxiliaries, by varying the operating time in each of the electric utility companies according to their geographical position. The results are compared with the provisions of the current regulation. Finally, a proposal for the consumption of auxiliaries calculation based on international regulations and real data is presented, in addition to a procedure for receiving the information of the public lighting system in order to adjust the values of consumption of the auxiliaries established in the current regulation (ARCONEL 006/18).

Index terms— Public lighting, operating time, auxiliaries consumption, luminaires.

Resumen

Este estudio tiene como propósito analizar las pérdidas debidas al consumo de energía eléctrica en los equipos auxiliares del sistema de alumbrado público de Ecuador y su tiempo de operación. Se inicia con el tratamiento de información de las bases de datos georreferenciadas, que presentan las empresas distribuidoras a la Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Con ayuda de software especializado se ejecuta el procesamiento de la información y se estratifica las luminarias usando como criterios la potencia y tipo de fuente de luz. Un segundo análisis estudia el tiempo de funcionamiento empleando para ello la ecuación del tiempo. Los resultados de estos análisis sirven para calcular la energía y potencia de consumo de las luminarias y sus auxiliares, variando los tiempos de operación en cada una de las empresas distribuidoras según su posición geográfica. Los resultados se comparan con lo establecido la regulación vigente. Finalmente, se presenta una propuesta de cálculo para el consumo de energía en los equipos auxiliares del sistema de alumbrado público y un procedimiento para recepción de información del alumbrado público con el fin de ajustar los valores de los consumos de los auxiliares establecidos en la regulación vigente (ARCONEL 006/18).

Palabras clave— Alumbrado público, tiempo de funcionamiento, consumo de auxiliares, luminarias.

Recibido: 17-05-2020, Aprobado tras revisión: 16-07-2020

Forma sugerida de citación: Ayala R., Otero P., Calle V. (2020). "Metodología para el análisis de las pérdidas de potencia y energía en las lámparas y sus componentes y determinación del tiempo del sistema de alumbrado público del Ecuador". Revista Técnica "energía". No. 17, Issue I, Pp. 43-51.

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2020 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

1. INTRODUCCIÓN

De manera general, las pérdidas en los auxiliares del sistema de alumbrado público de las empresas eléctricas de distribución son causadas principalmente por los balastos de las luminarias; a estas pérdidas se adicionan las no técnicas ocasionadas por una baja eficiencia en la red y por fallas en los sistemas de control.

Las pérdidas en los balastos son constantes y se consideran pérdidas técnicas, ocasionadas por el efecto Joule de la circulación de corriente por la bobina del balasto. El tamaño de las bobinas es proporcional a la potencia del balasto, es decir entre mayor tamaño, mayores pérdidas.

Las pérdidas en el sistema de alumbrado público también son producidas debido a la incorrecta facturación, si el total de la energía consumida por el alumbrado público no fuese facturado, esta diferencia pasa a formar parte de las pérdidas no técnicas en el consumo de energía eléctrica.

En los últimos años el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables del Ecuador ha implementado una gran cantidad de aplicativos y herramientas para el análisis técnico de los sistemas de distribución así como en la mejora de la gestión de las empresas de distribución; en este sentido, con la incorporación de los actuales valores de pérdidas de los elementos auxiliares del sistema de alumbrado público general (SAPG), que constan en la Regulación Nro. ARCONEL 006/18 [1], algunas empresas han identificado que al realizar los estudios de flujo, estos no convergen debido a que los valores considerados como pérdidas no permiten una distribución de carga adecuada.

Esto se debe a la sobre estimación de pérdidas y consumos del alumbrado público, atribuible principalmente a un mayor tiempo de encendido en los cálculos (horas de funcionamiento del SAPG), lo que provoca una distorsión en el balance energético de las empresas y en algunos casos se refleja en una disminución de pérdidas (especialmente no técnicas) y por ende una alteración de los indicadores de gestión de las empresas distribuidoras.

Los resultados de este estudio permiten a la ARCONEL tomar decisiones respecto de la actualización de los parámetros de los tiempos de funcionamiento y los valores de pérdidas en los auxiliares de las luminarias a nivel nacional establecidos en la Regulación vigente [1]. Como parte complementaria se realiza un análisis de evaluación en el cual se identifica el impacto que genera el ajuste de los nuevos parámetros en los balances energéticos de las empresas distribuidoras y puntualmente en sus indicadores de pérdidas de energía.

2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL ALUMBRADO PÚBLICO

Durante los últimos años, se ha identificado que, para el cálculo de la energía de los SAPG sin medición, las

empresas distribuidoras del Ecuador utilizan criterios distintos, tanto para determinar los consumos de los elementos auxiliares como para establecer los tiempos de encendido. Esta aproximación implica contabilizar en exceso o en escasez la energía consumida por el SAPG, lo que, a su vez, se refleja en la energía identificada como pérdidas técnicas del sistema de distribución.

La Regulación Nro. ARCONEL 006/18: “Prestación del Servicio de Alumbrado Público General”, tiene como objetivo “normar las condiciones técnicas que permitan a las empresas eléctricas distribuidoras prestar el servicio de alumbrado público general con calidad y eficiencia”. En esta Regulación se establecen los parámetros de funcionamiento de las luminarias, entre los que se encuentran los valores máximos del consumo de los auxiliares del sistema (ver Tabla 1) [1].

Tabla 1: Potencia máxima en auxiliares de luminarias [1]

Potencia (W)	Potencia máxima en auxiliares de vapor de sodio de alta presión (%)	Potencia máxima en auxiliares de luminarias LED (%)
$P \leq 70$	16	10
$70 < P \leq 100$	15	
$100 < P \leq 150$	13	
$P > 150$	12	

En los SAPG, el tiempo de funcionamiento se encuentra controlado mediante sistemas de reloj o fotocélula. En el primer caso la programación se realiza considerando 12 horas de funcionamiento. En el caso de la fotocélula funciona según el nivel de iluminación; sin embargo, en los reportes, los tiempos de funcionamiento, las empresas consideran únicamente las 12 horas y no el tiempo de funcionamiento exacto que la fotocélula controla.

La información sobre los componentes del SAPG de cada distribuidora, está georreferenciada y cuenta con una descripción nemotécnica homologada según [2]. Estas bases de dato se mantienen en el Sistema de Información Geográfica de la ARCONEL (SIG-ARCONEL).

3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE PÉRDIDAS PARA SISTEMAS SIN MEDICIÓN

3.1. Determinación de porcentajes de pérdidas en equipos auxiliares

Para establecer los límites permisibles de pérdidas en los SAGP, se analiza las siguientes normativas y referencias:

- American National Standard for Lamp Ballasts—Ballasts for High-Intensity-Discharge and Low-Pressure Sodium, ANSI C82.4 [3].
- Electrotecnia. Pérdidas máximas en balastos, para bombillas de alta intensidad de descarga. NTC 3657:1994 [4].
- HID lámparas y balastos [5].



- Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público, del Ministerio de Energía y Minas de Colombia [6].
- Cálculo detallado de pérdidas en sistemas eléctricos de distribución aplicado al alimentador Universidad perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato [7].

De los documentos anteriores se toman las potencias de las luminarias y las pérdidas establecidas según la potencia, para realizar un comparativo con la regulación vigente en el Ecuador y establecer una media para el cálculo de las pérdidas. Las Tablas 2 y 3 presentan este comparativo y la media para lámparas de sodio con balasto tipo reactor.

Tabla 2: Comparativa de documentos de lámparas de sodio con balasto tipo reactor en vatios

Potencia [W]	Potencia en W					Media
	Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público [6]	Pérdidas máximas en balastos para bombillas de alta intensidad [3]	HID lámparas y balastos [5]	Cálculo detallado de pérdidas en sistemas eléctricos [7]	Regulación Vigente [1]	
50	10,0	-	-	-	8,0	9,0
70	11,0	11,0	13,0	10,0	11,2	11,2
100	15,0	-	16,0	12,0	15,0	14,5
125	-	-	-	-	16,3	16,3
150	19,0	19,0	19,0	18,0	19,5	18,9
175	-	-	-	-	21,0	21,0
200	-	-	-	-	24,0	24,0
250	29,0	29,0	-	25,0	30,0	28,3
400	40,0	40,0	-	35,0	48,0	40,8
600	60,0	-	-	-	72,0	66,0
1000	100,0	-	-	-	120,0	110,0

Tabla 3: Comparativa de documentos de lámparas de sodio con balasto tipo reactor en

Potencia [W]	Potencia en %					Media
	Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público [6]	Pérdidas máximas en balastos para bombillas de alta intensidad [3]	HID lámparas y balastos [5]	Cálculo detallado de pérdidas en sistemas eléctricos [7]	Regulación Vigente [1]	
50	20,0	-	-	-	16,0	18,0
70	15,7	15,7	18,6	14,3	16,0	16,1
100	15,0	-	16,0	12,0	15,0	14,5
125	-	-	-	-	13,0	13,0
150	12,7	12,7	12,7	12,0	13,0	12,6
175	-	-	-	-	12,0	12,0
200	-	-	-	-	12,0	12,0
250	11,6	11,6	-	10,0	12,0	11,3
400	10,0	10,0	-	8,8	12,0	10,2
600	10,0	-	-	-	12,0	11,0
1000	10,0	-	-	-	12,0	11,0

Se observa que, para el caso de balastos tipo reactor, los valores de pérdidas no difieren de manera significativa para potencias inferiores a 200W, tanto en

las diferentes normas, así como en la regulación; sin embargo, cuando la potencia supera los 200W las pérdidas se reducen, respecto de la regulación vigente.

Tabla 4: Comparativa de documentos de lámparas de sodio con balasto tipo autotransformador en vatios

Potencia [W]	Potencia en W					Media
	Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público [6]	Pérdidas máximas en balastos para bombillas de alta intensidad [3]	HID lámparas y balastos [5]	Cálculo detallado de pérdidas en sistemas eléctricos [7]	Regulación Vigente [1]	
50	-	-	-	-	8,0	8,0
70	-	-	27,0	-	11,2	19,1
100	-	-	33,0	-	15,0	24,0
125	-	-	-	-	16,3	16,3
150	40,0	40,0	49,0	-	19,5	37,1
175	-	-	-	-	21,0	21,0
200	-	-	45,0	-	24,0	34,5
250	45,0	51,0	57,0	-	30,0	45,8
400	70,0	79,0	67,0	-	48,0	66,0
600	100,0	-	-	-	72,0	86,0
1000	119,0	-	-	-	120,0	119,5

Tabla 5: Comparativa de documentos de lámparas de sodio con balasto tipo autotransformador en porcentaje

Potencia [W]	Potencia en %					Media
	Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público [6]	Pérdidas máximas en balastos para bombillas de alta intensidad [3]	HID lámparas y balastos	Cálculo detallado de pérdidas en sistemas eléctricos [7]	Regulación Vigente [1]	
50	-	-	-	-	16,0	16,0
70	-	-	38,6	-	16,0	27,3
100	-	-	33,0	-	15,0	24,0
125	-	-	-	-	13,0	13,0
150	26,7	26,7	32,7	-	13,0	24,8
175	-	-	-	-	12,0	12,0
200	-	-	22,5	-	12,0	17,3
250	18,0	20,4	22,8	-	12,0	18,3
400	17,5	19,8	16,8	-	12,0	16,5
600	16,7	-	-	-	12,0	14,3
1000	11,9	-	-	-	12,0	12,0

Para balastos tipo autotransformador, se realiza la misma comparativa, según se presenta en las Tablas 4 y 5. En este caso se observa que los valores considerados en cada una de las normas difieren ampliamente de los valores en la Regulación.

Dadas las significativas variaciones encontradas en la comparación con la regulación vigente, se propone la utilización de los valores mostrados en las Tablas 6 y 7, para el cálculo de pérdidas de los elementos auxiliares del alumbrado público, el criterio que se seleccionó para la elección de estos valores fue en base al análisis de la comparativa de documentos sobre las pérdidas máximas en los auxiliares, realizando una media de los valores encontrados y aproximando al número mayor, se debe tener en cuenta que estos valores son provisionales hasta realizar un análisis con los valores de consumo de



auxiliares que presentarán las empresas distribuidoras del país.

Tabla 6: Valores de propuesta de pérdidas máximas en auxiliares para balasto tipo reactor

Potencia [W]	Pérdidas máximas en auxiliares en luminarias de vapor de sodio de alta presión (%)	Pérdidas máximas en auxiliares en luminarias LED (%)
$P \leq 70$	18	10
$70 < P \leq 100$	16	
$100 < P \leq 150$	15	
$150 < P \leq 200$	13	
$P > 200$	12	

Tabla 7: Valores de propuesta de pérdidas máximas en auxiliares para balasto tipo autotransformador

Potencia [W]	Pérdidas máximas en auxiliares en luminarias de vapor de sodio de alta presión (%)	Pérdidas máximas en auxiliares en luminarias LED (%)
$P \leq 70$	40	10
$70 < P \leq 100$	39	
$100 < P \leq 150$	33	
$150 < P \leq 200$	30	
$P > 200$	23	

3.2. Tratamiento de datos de la información del sistema de alumbrado público

Este análisis se realiza utilizando la información del sistema de alumbrado público general a nivel nacional proveniente del SIG-ARCONEL (Sistema de Información Geográfica de la ARCONEL).

La base de datos del SAPG se encuentra georreferencia en formato para ARCGIS Pro, esta información se exporta en shapefile y dentro de este shapefile existen archivos de Excel en formato *.dbf en el cual se encuentran todos los datos que presentan las empresas distribuidoras. El proceso de tratamiento de la información se explica en el diagrama de flujo de Fig. 1.

Mediante este proceso se determina la cantidad de luminarias a nivel nacional, incluyendo datos importantes como: descripción nemotécnica, tipo de fuente de luz, tipo de control, ubicación, empresa a la que pertenece, entre otros. Usando la descripción nemotécnica (ver Fig. 2) y la homologación de las unidades de propiedad y unidades de construcción del sistema de distribución eléctrica [2] se estratifica las luminarias por tipo de fuente de luz, de este modo se añade el porcentaje de consumo de auxiliares correspondiente para el cálculo de energía total.

En la Tabla 8 se detalla la cantidad de luminarias funcionando al mes de diciembre, según el tipo de luminaria por empresa distribuidora. Con el uso de la descripción nemotécnica en lugar del tipo de fuente de luz, se disminuye la cantidad de datos inconsistentes por campos vacíos o llenos con datos erróneos errados. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar la columna “No existe DN”, indicando un campo vacío en la base de datos, que corresponde a una

luminaria que no tuvo un tipo de fuente de luz, estos casos representan menos del 1% de luminarias por lo que no afectan en los cálculos de energía consumida.

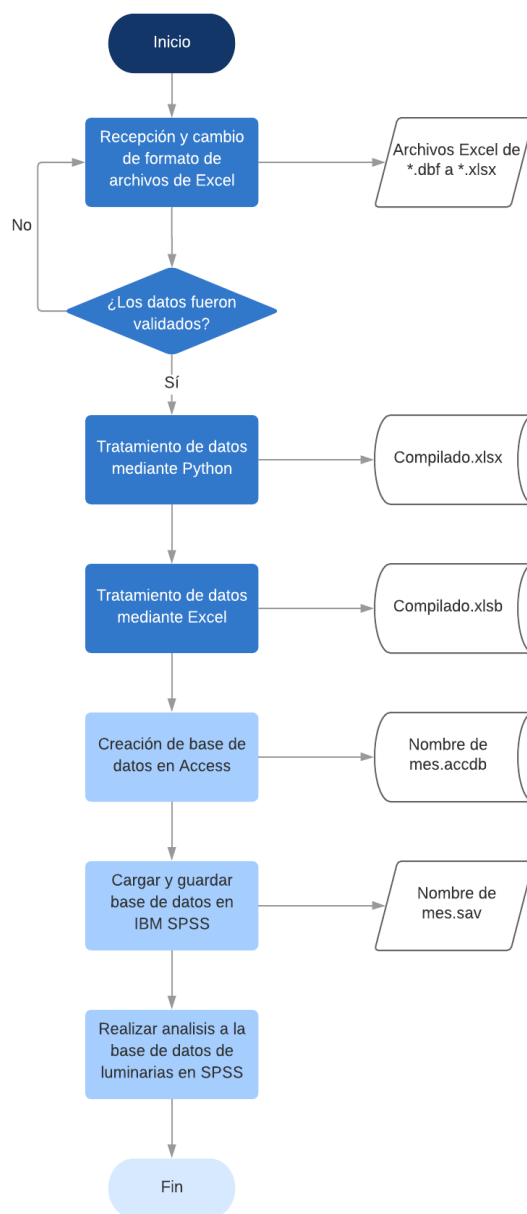


Figura 1: Diagrama de flujo del tratamiento de datos para el análisis de luminarias

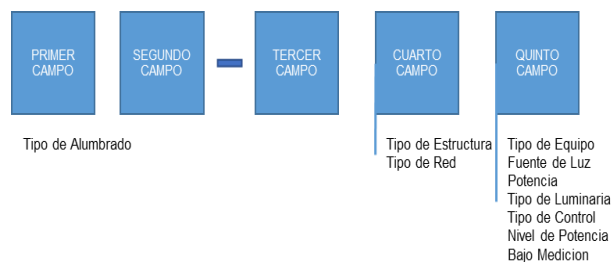


Figura 2: Descripción nemotécnica [2]



Se debe tener en cuenta también que la información sobre las luminarias de doble nivel de potencia no se encuentra bien estructurada debido a que algunas empresas ingresan mal los datos o dejan vacío este campo, por este motivo no se ha considerado el segundo nivel de potencia de las luminarias instaladas en el sistema eléctrico.

Tabla 8: Cantidad de luminarias del mes de diciembre

Empresa	Tipo de luminaria						Total
	Halogenuro Metálico	Inducción	Led	Mercurio	No existe DN	Sodio	
CNEL Bolívar	1	0	198	1.417	0	17.797	19.413
CNEL El Oro	3.050	0	3.486	3.162	0	76.612	86.310
CNEL Esmeraldas	0	0	873	939	2.421	44.458	48.691
CNEL Guayaquil	5.880	0	1.688	16.755	0	150.999	17.5322
CNEL Guayas Los Ríos	118	0	799	1.687	0	94.657	97.261
CNEL Los Ríos	0	0	655	1.167	11	29.686	31.519
CNEL Manabí	0	0	948	9.287	38	92.266	10.2539
CNEL Milagro	240	0	1436	3267	0	41935	46878
CNEL Sta Elena	0	0	206	421	11	44.924	45.562
CNEL Sto Domingo	27	0	3.470	1.649	0	69.834	74.980
CNEL Sucumbios	15	0	541	139	0	48.229	48.924
EE Ambato	103	0	6.331	1.380	0	113.614	121.428
EE Azogues	232	0	829	785	0	15.040	16.886
EE Centrosur	782	0	6.486	2.229	0	134.438	143.935
EE Cotopaxi	13	0	536	3971	0	46.375	50.895
EE Galápagos	0	755	1.923	94	240	1.604	4.616
EE Norte	40	0	5.635	6124	0	85.613	97.412
EE Quito	9.440	92	5.112	1627	0	266.598	282.869
EE Riobamba	221	0	2.576	428	0	57.347	60.572
EE Sur	607	0	6.515	993	0	56.903	65.018
Total	20.769	847	50.243	57.521	2.721	1.488.929	1.621.030

3.3. Análisis del tiempo de funcionamiento del sistema de alumbrado público general

Los SAPG del Ecuador, cuentan con dos tipos: por reloj y por fotocelda o fotocontrol, este último es el más utilizado. Con esta consideración, las luminarias con fotocontrol, son las que producen un mayor impacto en el cálculo del consumo de energía y por lo tanto en las pérdidas de los elementos auxiliares, dada la variación de la duración del día.

Para establecer el valor adecuado a utilizar, se analiza datos de la duración del día tomados por estaciones meteorológicas desde el año 2000 hasta el año 2018 en diferentes ciudades del Ecuador para posteriormente determinar el comportamiento real mediante uso de la ecuación del tiempo.

La ecuación del tiempo es fundamental para predecir la duración del día, amanecer, atardecer y los diferentes

crepúsculos existentes [3]–[5]. Para aplicarla, se calcula el año fraccionario con la ecuación (1):

$$x = \frac{2\pi}{365} \times \left(\text{Día del año} - 1 + \frac{\text{hora} - 12}{24} \right) \tag{1}$$

donde x es el año fraccionario, Día del año es 1 para el 1 de enero y 365 para el 31 de diciembre (366 para años bisiestos) y hora representa a la hora del día.

Se debe tener en cuenta que para el año bisiesto se usa 366 en el denominador en lugar de 365 [3]. Una vez determinado el año fraccionario es posible aplicar la ecuación del tiempo en minutos y el ángulo de declinación solar en radianes, mediante las ecuaciones (2) a la (4):

$$\begin{aligned} \text{Ec. del tiempo} = & 229.18 \times (0.000075 \\ & + 0.001868 \times \cos(x) \\ & - 0.032077 \times \sin(x) \\ & - 0.014615 \times \cos(2x) \\ & - 0.040849 \times \sin(2x) \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \text{Desplazamiento del tiempo} \\ = & \text{Ec. del tiempo} + 4 \\ & \times \text{longitud} - 60 \\ & \times \text{zona horaria} \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} \text{Tiempo solar verdadero} \\ = & \text{hora} \times 60 + \text{min} + \frac{\text{seg}}{60} \\ & + \text{Desplazamiento del tiempo} \end{aligned} \tag{4}$$

donde longitud es la longitud del sistema de coordenadas geográficas y zona horaria pertenece al área de la tierra que sigue la definición del tiempo.

Una vez determinados los valores, es posible graficar la ecuación del tiempo (ver Fig. 3) y con el desplazamiento del tiempo se calcula el tiempo solar verdadero que vendría a ser la duración del día, a partir de la cual se obtiene la duración de la noche y con estos tiempos se estima el tiempo que permanece encendida la lámpara y por tanto se puede calcular la energía y potencia consumidas por esta.

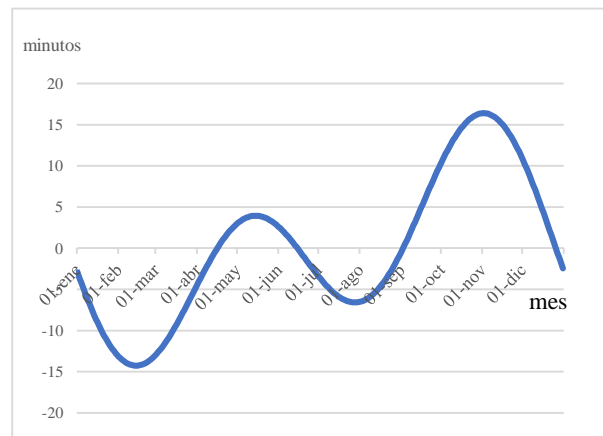


Figura 3: Ecuación del tiempo



En la Fig. 4 se observa la duración del día según el mes y en la Fig. 5 se puede observar la duración del día para cada una de las ciudades analizadas, teniendo como resultado que la duración del día para Quito e Ibarra esta entre 12:04 horas y 12:06 horas aproximadamente, sin mayor variación a lo largo del año.

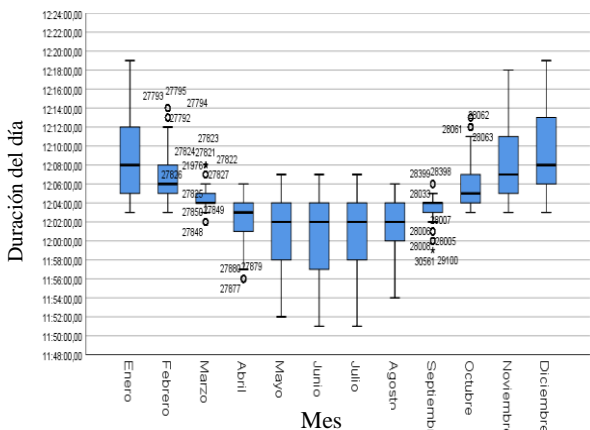


Figura 4: Duración del día por mes

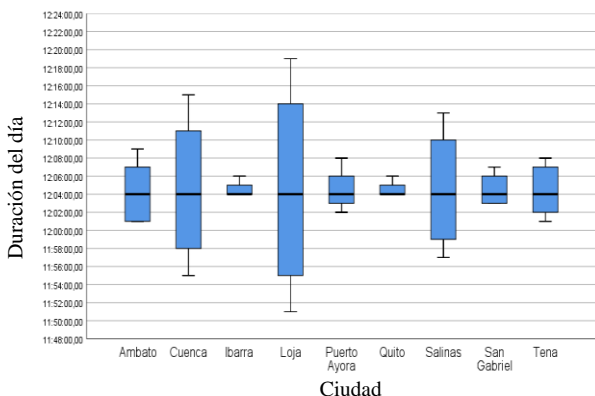


Figura 5: Duración del día por ciudad

Para la ciudad de Loja, la duración del día tiene mayor variación, dura entre 11:51 horas y 12:19 horas aproximadamente; esto quiere decir que, a lo largo del año, en ciudades más alejadas del centro del planeta la duración del día y por lo tanto el tiempo de encendido es de hasta 18 minutos, según se muestra en la Fig. 5. Se debe tener en cuenta que la media para todas las ciudades del Ecuador está en las 12:04 horas.

Determinado el comportamiento de la duración del día, se puede calcular el tiempo de encendido del sistema de alumbrado público para cada empresa distribuidora, considerando un año de 365 días, de esta manera se obtiene un valor más ajustado a la realidad.

4. CÁLCULO DE LA ENERGÍA DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

En la Tabla 10 se muestra las variaciones en el consumo de energía considerando los porcentajes de los consumos de auxiliares dados en la Regulación y aplicando el tiempo de funcionamiento de 12:00 horas, 11:56 horas y aplicando la ecuación del tiempo en el cual

se considera la variación de los tiempos de encendido diarios de todo el año.

Tabla 9: Comparativo de energía consumida calculada con la regulación vigente y con la propuesta

Mes	Tiempo	Energía total anual [MWh]	
		Regulación	Propuesta
Enero	12:00	104.803,07	105.602,91
	11:56	104.191,71	104.986,90
	DIA A DIA	103.468,07	104.257,53
Febrero	12:00	95.183,11	95.909,76
	DIA A DIA	94.245,23	94.964,65
Marzo	12:00	106.524,20	107.327,32
	DIA A DIA	105.902,81	106.701,25
Abril	12:00	103.135,49	103.913,33
	DIA A DIA	102.824,70	103.600,33
Mayo	12:00	101.936,18	102.716,91
	DIA A DIA	101.341,56	102.117,73
Junio	12:00	93.922,65	94.635,57
	DIA A DIA	93.374,77	94.083,53
Julio	12:00	103.681,47	104.463,27
	DIA A DIA	103.076,66	103.853,90
Agosto	12:00	106.725,53	107.536,51
	DIA A DIA	106.102,97	106.909,21
Septiembre	12:00	104.180,55	104.970,73
	DIA A DIA	103.676,73	104.463,14
Octubre	12:00	108.104,08	108.922,97
	DIA A DIA	107.473,48	108.287,59
Noviembre	12:00	105.888,40	106.695,04
	DIA A DIA	104.631,32	105.428,08
Diciembre	12:00	109.897,10	110.735,29
	DIA A DIA	108.372,61	109.198,78

5. ANÁLISIS DE CONSUMO DE AUXILIARES DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

Para el consumo de los auxiliares, los cálculos se realizan con base a los porcentajes de la Regulación vigente y a la propuesta realizada en este estudio. En la Fig. 6 se detalla el consumo de los auxiliares de las luminarias totalizado con los porcentajes antes mencionados. De los resultados se puede observar que el consumo de los auxiliares de la propuesta es mayor con 9.373 MWh con respecto al de la Regulación.

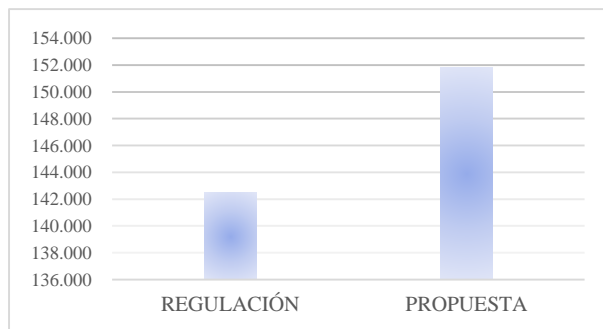


Figura 6: Consumo total de auxiliares del año 2019 en MWh



En las Figuras 7 a la 10, se puede observar el comportamiento del consumo de los auxiliares a lo largo del año 2019, por empresa distribuidora. El consumo de los auxiliares está calculado con los porcentajes según la Regulación y según la propuesta realizada. De estos gráficos se concluye que las empresas que más consumen energía en elementos auxiliares del SAPG son CNEL Guayaquil, CNEL Manabí, CNEL El Oro y CNEL Guayas Los Ríos para CNEL y Empresa Eléctrica Ambato, Empresa Eléctrica Quito y Empresa Eléctrica Centrosur, con valores sobre los 8000 MWh, calculados según la propuesta.

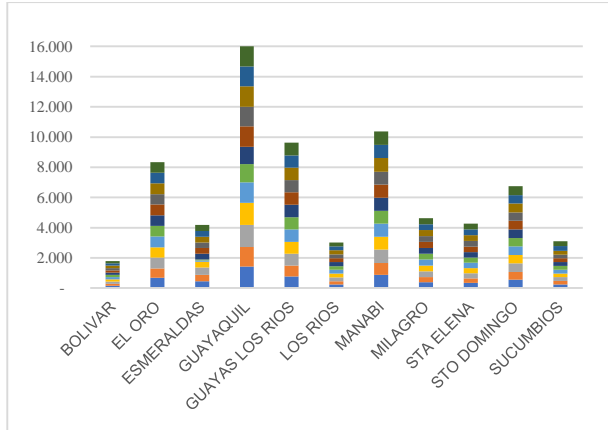


Figura 7: Consumo de auxiliares de CNEL del año 2019 según la Regulación en MWh

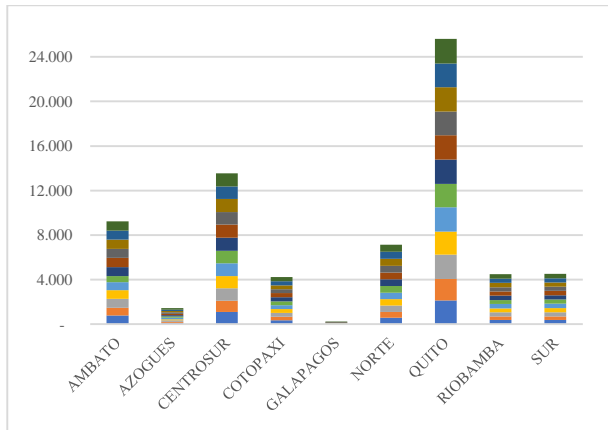


Figura 8: Consumo de Auxiliares de Empresas Distribuidoras del año 2019 según la Regulación en MWh

En la Tabla 10 se detalla el consumo de auxiliares del mes de diciembre para el año 2019 con los porcentajes de consumo de la Regulación vigente y la propuesta realizada en este estudio.

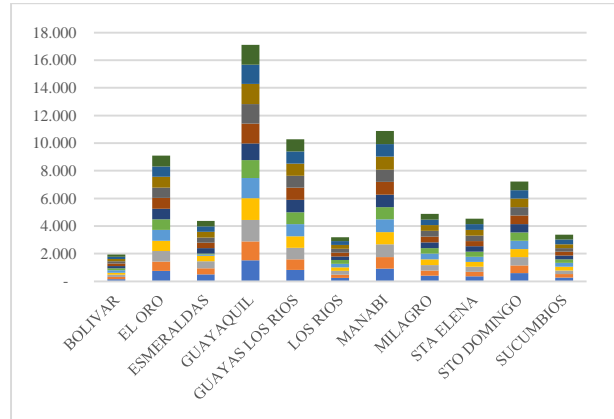


Figura 9. Consumo de auxiliares de CNEL del año 2019 según la propuesta en MWh

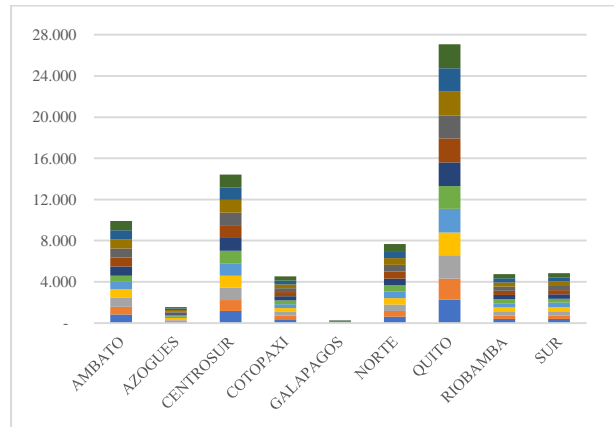


Figura 10: Consumo de Auxiliares de Empresas Distribuidoras del año 2019 según la propuesta en MWh

Tabla 10: Consumo de auxiliares de diciembre

Mes		Diciembre	
Empresa		Energía Regulación [MWh]	Energía Propuesta [MWh]
CNEL	Bolívar	151,93	164,71
	El Oro	706,66	769,87
	Esmeraldas	392,23	408,53
	Guayaquil	1.342,67	1.438,71
	Guayas Los Ríos	838,52	896,34
	Los Ríos	268,23	282,38
	Manabí	901,79	944,67
	Milagro	395,41	418,5
	Sta Elena	390,09	412,91
	Sto Domingo	585,23	626,18
Sucumbios	316,74	347,09	
Total CNEL		6.289,52	6.709,89
EE	Ambato	835,86	901,19
	Azogues	129,62	139,61
	Centrosur	1.180,12	1.256,74
	Cotopaxi	372,64	399,97
	Galápagos	21,58	23,3
	Norte	637,36	684,49
	Quito	2.204,62	2.328,52
	Riobamba	392,18	417,34
Sur	384,82	413,45	
Total EE		6.158,81	6.564,61
Total		12.448,33	13.274,50



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado del análisis se ha identificado que si bien a nivel nacional, se encuentra homologado un modelo de datos único para toda la infraestructura eléctrica, en el catastro de alumbrado público (geodatabase) existen inconsistencias en la información, entre las principales están aquellas provocadas por: el ingreso de datos en campos equivocados, campos vacíos o códigos con información errónea; esto permite concluir que para la aplicación del cálculo de la energía a partir de la ecuación del tiempo, no se cuenta con datos, por lo cual sería necesario incorporar este criterio en el modelo de datos nacional.

Considerando los aspectos de la falta de información, variabilidad de los consumos de los elementos auxiliares y variación del tiempo de funcionamiento, como se demuestra con la aplicación de la ecuación del tiempo, la metodología planteada podría ser incorporada como parte de la Regulación vigente de alumbrado público, con el fin de determinar las pérdidas del sistema de alumbrado público de manera más acorde a la realidad en cuanto al tiempo de funcionamiento y los tipos de balastos.

El balasto tipo reactor es el más utilizado por las empresas eléctricas distribuidoras; sin embargo, un porcentaje importante de balastos son de tipo autotransformador; en este sentido, la Regulación vigente no considera este tipo de tecnología, haciéndose necesaria su incorporación, dado que el balasto tipo autotransformador consume aproximadamente el doble de energía que el de tipo reactor.

En el presente estudio se identificó que los consumos de auxiliares planteados en la Regulación vigente son inferiores respecto de la normativa internacional e información existente. A partir de la propuesta metodológica desarrollada se puede establecer un criterio único a nivel nacional, con el que se podrá determinar los valores de pérdidas en los balastos de las luminarias, considerando información más cercana a la realidad y las tecnologías de luminarias que se incorpora cada año en el país.

Para el análisis de consumos de energía se puede observar que utilizando los porcentajes de consumos de auxiliares de la propuesta realizada, la energía será mayor debido a que estos porcentajes son mayores que los de la Regulación; pero para el caso del tiempo de funcionamiento, se ha analizado el consumo de energía con los tiempos de funcionamiento de 12 horas, 11 horas y 56 minutos y con el tiempo variable a lo largo del año, de esta manera se ha concluido que el consumo de energía disminuirá en aproximadamente 7.500 MWh para el año 2019 utilizando los tiempos de funcionamiento variables con respecto a las 12 horas de funcionamiento establecidos por la Regulación.

A pesar de las políticas que se han incorporado respecto al reemplazo de tecnologías más eficientes y menos contaminantes en iluminación (luminarias de

mercurio), se evidencia que aún existen en el país 50.829 luminarias de mercurio, además de 980 luminarias de inducción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Estudios Eléctricos y Energéticos de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad por su apoyo en el desarrollo de este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, "Regulación Nro. ARCONEL 006/18 Prestación del Servicio de Alumbrado Público," Quito, 2018.
- [2] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, "Homologación de las Unidades de Propiedad y Unidades de Construcción del sistema de distribución eléctrica," Quito, 2011.
- [3] American National Standard for Lamp Ballasts—Ballasts for High-Intensity-Discharge and Low-Pressure Sodium Lamps, ANSI C82.4-2017, 2017.
- [4] Eletrotecnia. Pérdidas máximas en balastos, para bombillas de alta intensidad de descarga, NTC 3657:1994, 2018.
- [5] D. O'Keefe y S. Eddy, "HID Lamps and Ballasts," Ottawa, 2010.
- [6] Ministerio de Energía y Minas de Colombia, Reglamento Técnico de iluminación y alumbrado público, Bogotá, 2010.
- [7] S. P. Cañar Olmedo, "Cálculo detallado de pérdidas en sistemas eléctricos de distribución aplicado al alimentador Universidad perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.," Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2007.



Robinson A. Ayala López. nació en Tulcán, Ecuador el 11 de diciembre de 1992. Actualmente es estudiante de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional. En el 2015 realizó pasantías en el proyecto de la subestación eléctrica Posorja en la empresa ElectricBright. Ha apoyado en proyectos de sistemas de alumbrado público y distribución de energía eléctrica en la Agencia Nacional de Regulación y Control de Electricidad.



Patricia E. Otero Valladares.- es Ingeniera en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional, tiene una maestría en Ingeniería Eléctrica y una en Administración de Empresas, de la misma institución. Ha desempeñado cargos como: Gerente del Proyecto

de Electrificación Rural para Zonas Aisladas del Ecuador, Jefe de Transacciones Comerciales de Energía para la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, Asesora en Energía Renovable y Eficiencia Energética para la Empresa Eléctrica Quito. Actualmente es profesora del Departamento de Energía Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional.



Víctor E. Calle García.- Ingeniero Eléctrico, de la Universidad Politécnica Salesiana, tiene un diplomado en Medición, Control y Automatización de Sistemas Eléctricos en Schneider Electric, diplomado en Economía de la Regulación de la Universidad

de San Andrés, Argentina; es especialista en Administración de Empresas y cursa la Maestría de Administración de Empresas en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador. Ha desempeñado cargos como: Jefe de Control de Pérdidas en la Corporación Nacional de Electricidad, Asesor Eléctrico en la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, especialista de planificación de los sistemas de distribución en el Consejo Nacional de Electricidad. Actualmente labora en la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, como especialista en planificación de distribución y movilidad eléctrica.