



*Modelamiento de ecuaciones para estimar el consumo diario de una lámpara led con telegestión en base a la movilidad humana*

*Modeling of equations to estimate the daily consumption of a led lamp with remote management based on human mobility*

*Modelagem de equações para estimar o consumo diário de uma lâmpada LED com gerenciamento remoto baseado na mobilidade humana*

Galo Marcelo Tapia-Estrella <sup>I</sup>  
[gtapia.istt@gmail.com](mailto:gtapia.istt@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-5107-9773>

Patricio Alejandro Molina-Palma <sup>II</sup>  
[pmolina.istt@gmail.com](mailto:pmolina.istt@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-3584-4356>

Raúl Gregorio Martínez-Pérez <sup>III</sup>  
[raul.martinez@esepoch.edu.ec](mailto:raul.martinez@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-1552-7580>

Edwin Andrés Arévalo-Loor <sup>IV</sup>  
[edwin.arevalo@esepoch.edu.ec](mailto:edwin.arevalo@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-6959-6461>

**Correspondencia:** [gtapia.istt@gmail.com](mailto:gtapia.istt@gmail.com)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 25 de abril de 2022 \* **Aceptado:** 20 de mayo de 2022 \* **Publicado:** 27 de Junio de 2022

- I. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, Ecuador.
- II. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

## Resumen

**Introducción:** La movilidad humana es un parámetro muy difícil de cuantificar, ya que depende de demasiados eventos, gracias los datos de dominio público de Google Maps, se tiene un historial de movilidad a nivel global que ayudan a crear funciones de probabilidad de aparición de personas en las vías donde existe alumbrado público general (APG) y para empezar con el planteamiento de las ecuaciones clasificado las vías públicas en zonas con funciones de movilidad diferentes.

**Objetivo:** Determinar el tiempo que estarán atenuadas las lámparas, a partir de ecuaciones y del sistema de telegestión con lámparas dotadas con sensores capaces del hallazgo de peatones y vehículos, tendiente a la formulación de ecuaciones que estiman el consumo diario con el propósito de definir la viabilidad de su instalación. **Metodología:** Presenta un enfoque mixto, debido a que describe cualitativamente el impacto de la tele gestión en el alumbrado público del Ecuador a través de indicadores de eficiencia energética; y una descripción cuantitativa de los valores aproximados de ahorro energético los que se traducen en dinero que las empresas distribuidoras se ahorrarían.

**Conclusión:** Se concluyó que las ecuaciones que calculan el consumo diario de una lampara LED con telegestión, están pensadas para asistir a todo aquel que requiera implementar un sistema de telegestión ya que al estimar los consumos en base a la movilidad humana, se puede estimar el beneficio y la viabilidad de la instalación de este tipo de lámparas. **Resultados:** Mediante el uso del modelo de Holt-Winters se realiza prospectivas con tendencias superior, normal e inferior, con un rango de error de 3-4%, de la base de datos extraída del software ArcGIS permitiendo prever la cantidad de luminarias y potencia instalada en los diferentes planes de análisis.

**Palabras clave:** Alumbrado público general (APG); telegestión; movilidad humana.

## Abstract

**Introduction:** Human mobility is a very difficult parameter to quantify, since it depends on too many events, thanks to the public domain data of Google Maps, there is a history of mobility at a global level that helps to create functions of probability of appearance of people on the roads where there is general public lighting (APG) and to start with the approach of the equations classified the public roads in areas with different mobility functions. **Objective:** To determine the time that the lamps will be dimmed, based on equations and the remote management system with lamps equipped with sensors capable of detecting pedestrians and vehicles, aimed at formulating equations that estimate daily consumption with the purpose of defining the feasibility of its

installation. **Methodology:** It presents a mixed approach because it qualitatively describes the impact of remote management on public lighting in Ecuador through energy efficiency indicators; and a quantitative description of the approximate values of energy savings which translate into money that the distribution companies would save. **Conclusion:** It was concluded that the equations that calculate the daily consumption of an LED lamp with remote management are designed to assist anyone who needs to implement a remote management system, since by estimating consumption based on human mobility, it is possible to estimate the benefit and feasibility of installing this type of lamps. **Results:** Through the use of the Holt-Winters model, perspectives are carried out with upper, normal, and lower trends, with an error range of 3-4%, from the database extracted from the ArcGIS software, allowing the number of luminaires and power to be predicted. installed in the different analysis plans.

**Keywords:** General public lighting (APG); telemanagement; human mobility.

## Resumo

**Introdução:** A mobilidade humana é um parâmetro muito difícil de quantificar, pois depende de muitos eventos, graças aos dados de domínio público do Google Maps, existe um histórico de mobilidade em nível global que ajuda a criar funções de probabilidade de aparecimento de pessoas nas vias onde existe iluminação pública geral (APG) e para começar pela abordagem das equações classificou as vias públicas em áreas com diferentes funções de mobilidade. **Objetivo:** Determinar o tempo que as lâmpadas serão apagadas, com base em equações e no sistema de gerenciamento remoto com lâmpadas equipadas com sensores capazes de detectar pedestres e veículos, visando formular equações que estimem o consumo diário com o objetivo de definir a viabilidade de sua instalação. **Metodologia:** Apresenta uma abordagem mista, pois descreve qualitativamente o impacto da gestão remota na iluminação pública no Equador por meio de indicadores de eficiência energética; e uma descrição quantitativa dos valores aproximados de economia de energia que se traduzem em dinheiro que as distribuidoras economizariam. **Conclusão:** Concluiu-se que as equações que calculam o consumo diário de uma lâmpada LED com gerenciamento remoto são projetadas para auxiliar quem precisa implantar um sistema de gerenciamento remoto, pois estimando o consumo com base na mobilidade humana, é possível estimar o benefício e viabilidade de instalação deste tipo de lâmpadas. **Resultados:** Através da utilização do modelo Holt-Winters,

são realizadas prospectivas com tendências superior, normal e inferior, com faixa de erro de 3-4%, a partir do banco de dados extraído do software ArcGIS, permitindo o número de luminárias e potência a ser previsto instalado nos diferentes planos de análise.

**Palavras-chave:** Iluminação Pública Geral (APG); telegestão; mobilidade humana.

## Introducción

En el plan maestro de electrificación, en el 2013-2022 CONELEC, hoy ARCONEL, hace referencia a la implementación de planes de eficiencia energética, así como sistemas de gestión sustentable y e riesgos que integren esfuerzos de los agentes del sector eléctrico en todas sus etapas funcionales (Consejo Nacional de Electricidad, 2016). Una de las ventajas de los sistemas de telegestión, es que las lámparas LED tienen distintos niveles de atenuación, esto implica que su consumo se reduce al reducir el nivel lumínico, obviamente considerando que los niveles lumínicos no pueden caer bajo los límites mínimos definidos para garantizar la seguridad en las vías.

El sistema permite el envío de información y control, de tal forma que es posible intercambiar datos de manera rápida y eficiente, ayudando al control, supervisión y automatización de los equipos.

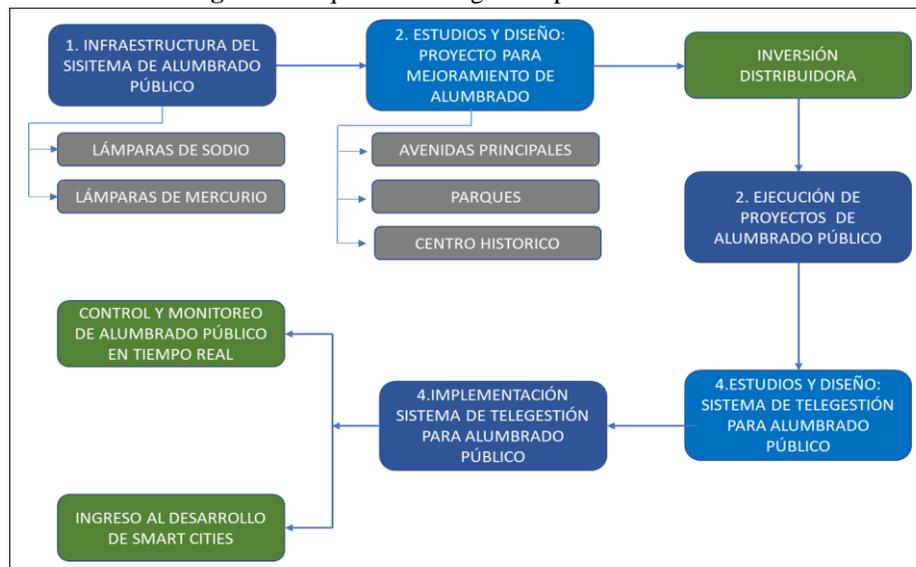
Entre sus principales ventajas se encuentran:

- Información detallada de sus elementos.
- Control de encendido y apagado de las instalaciones
- Información en tiempo real, potencia, energía.
- Estado de operación (reporte inmediato para mantenimiento)
- Control a distancia y fácil de localizar irregularidades.

Como punto de partida se maneja un plan de reemplazo progresivo de luminarias de descarga de vapor de sodio y mercurio halogenado por luminarias de tecnologías más eficientes como lo es la LED, de esta manera se mejora y moderniza la infraestructura del sistema de alumbrado público dentro de la concesión de cada Empresa Eléctrica.

El desarrollo de nuevas tecnologías para el control y monitoreo en tiempo real de equipos eléctricos se han incrementado, de tal forma los sistemas de telegestión del alumbrado público permite monitorear y operar puntos de iluminación ubicados en vías públicas, parques, optimizando el consumo de energía eléctrica y actividades de mantenimiento.

**Figura. 1** Esquema de telegestión para distribuidoras



**Fuente:** ( Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte EEASA, 2016).

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

Como punto de partida es indispensable conocer el estado de la infraestructura en alumbrado público, área de prestación de servicio, proyectos de mejoramiento y planes de sustitución de luminarias de sodio y mercurio por Luminarias LED.

De esta manera es posible gestionar proyectos de telegestión orientado al control y monitoreo de luminarias LED, de esta manera alcanzar eficiencia energética en alumbrado público.

### **Creación de la herramienta de cálculo**

En el caso del análisis prospectivo se tomará de base un modelo econométrico, en este tipo de modelos se toman en cuenta algunas variables:

- Variables cualitativas: este tipo de variables no son usualmente representadas de forma numérica, sino en forma de una característica, estas son por ejemplo las percepciones de seguridad por parte de la ciudadanía al transitar en horarios de la noche o la afluencia de personas que transitan por determinadas calles de la ciudad, afluencia que anteriormente en este proyecto se lo ha representado como poca o nula afluencia, afluencia moderada y gran afluencia. Si se quiere usar este tipo de variables en un cálculo prospectivo, es necesario cuantificar dichas variables (Tama Franco, 2012).

- Variables cuantitativas: este tipo de variables ya están expresadas de forma numérica y no es necesario un postprocesamiento de datos para usarlas en los cálculos prospectivos, estas variables son, por ejemplo, el número de luminarias instaladas o la potencia que consume cada una de ellas (Tama Franco, 2012).

El presente estudio gira en torno a una sola cosa, ahorro energético que se traduce en un rédito económico, el fin de toda implementación tecnológica para el escenario base presentado, es encontrar la mejor configuración en términos de beneficio económico a lo largo de la vida útil de los equipos, por este motivo la prospectiva o análisis prospectivo estará definida en base a un modelo econométrico construido con todas aquellas variables consideradas anteriormente, más todas aquellas que puedan tener algún tipo de influencia en el ahorro mediante la telegestión aplicada al alumbrado público (Tama Franco, 2012).

### **Ecuaciones del consumo diario de una lámpara LED con telegestión**

Para definir las ecuaciones de cálculo se parte del funcionamiento de un sistema de telegestión propietario de la marca AIRIS.

El primer paso para determinar el modelo econométrico es la definición de las variables y constantes que estarán representadas en el modelo, estas se detallan en la tabla 1:

**Tabla 1** Descripción de las variables y constantes usadas

<b>Representación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
$y_1$	Variable endógena	Consumo diario de una lámpara LED
$\alpha$	Variable endógena	Tiempo que la lámpara está al 100%
$\beta$	Variable endógena	Tiempo que la lámpara está regulada
$x_1$	Variable exógena	Potencia de la lámpara
$x_2$	Variable exógena	Factor de consumo del conjunto
$x_3$	Variable exógena	Porcentaje de iluminación
$x_4$	Variable exógena	Presencia de vehículos y personas
$x_5$	Variable exógena	Hora del día
$t$	Variable exógena	Tiempo
PL	Constante	Potencia nominal de la lámpara
HF	Constante	Horas de funcionamiento de la lámpara
$i$	Constante	Caso puntual de iluminación variable
$t_p$	Constante	Tiempo que tarda un peatón en pasar el área de cobertura de la lámpara
$t_a$	Constante	Tiempo que tarda un auto en pasar el área de cobertura de la lámpara

**Fuente:** (Pérez, 2006)

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

En nuestro modelo econométrico se hará especial énfasis en el cálculo del consumo diario ya que es directamente proporcional al gasto económico que en si es el objetivo principal de la investigación.

Dado que el consumo es igual a:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Potencia x horas de funcionamiento}}{\text{Factor de consumo del conjunto}}$$

(1)

Dado que el consumo diario es directamente proporcional a la potencia e inversamente proporcional al factor de consumo del conjunto, los coeficientes del modelo estarán con una relación de uno a uno al momento de representarlos en la ecuación final del modelo que representa el consumo diario.

En el caso de la ecuación que representa el factor de consumo del conjunto, según los datos analizados en la investigación Consejo Nacional de Electricidad (2016), el factor de consumo del conjunto depende del nivel de atenuación de la lámpara LED, y dado que el nivel de atenuación de la lámpara LED está representado por  $x_3$ , variable que puede tomar valores entre 0 y 1; se define que según los datos analizados, su relación es representada con una curva logarítmica, para esta estimación se usa el método de regresión logarítmica, y mediante un ajuste por el método de mínimos cuadrados, se obtiene la ecuación que representa  $x_2$  en función de  $x_3$ .

El modelo de consumo de una lámpara LED tomando en cuenta telegestión está dado por las siguientes ecuaciones:

$$y_1 = \alpha PL + \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i * x_{(i)1}}{x_{(i)2}} + \varepsilon$$

(2)

$$x_2 = 0.1099 * \ln(x_3) + 1.0225$$

(3)

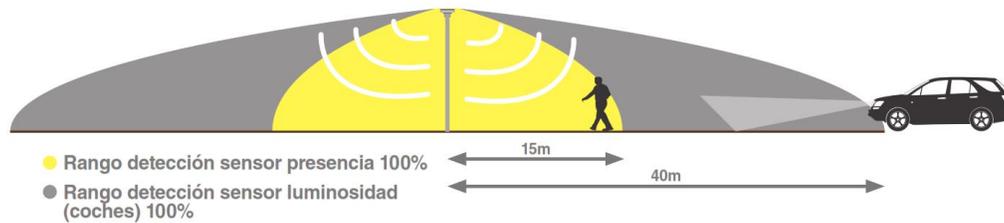
$$HF = \alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i$$

(4)

Al momento de estimar alfa, que representa el funcionamiento de las lámparas a potencia nominal, mientras que beta representa el funcionamiento de las lámparas a diferentes niveles de luminosidad, en las ecuaciones planteadas en el modelo general se consideran “n” niveles de luminosidad, y para cada uno de ellos se debe determinar las condiciones de ocurrencia para cada uno y de esa forma calcular el tiempo en que la lámpara permanecerá en ese estado.

En el análisis entra en juego una variable importante, el tiempo, si hablamos de telegestión, las lámparas deben ser capaces de detectar la presencia de un vehículo o persona al aproximarse, esto se logra usando sensores de presencia y luminosidad, tal como se muestra en la fig. 2.

**Figura. 2** Sistema de detección de peatones y vehículos



**Fuente:** (Ocerin, 2018)

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

Dado el rango de detección de los sensores de la marca AIRIS, y tomando en cuenta que el resto de las marcas tienen un rango similar de detección, usaremos los datos de AIRIS como referencia. Una vez especificado esto, se procede a calcular las constantes:

$$t_p = 30m \div \frac{5km}{h} = 21.6 \text{ sg}$$

(5)

$$t_a = 80m \div \frac{60km}{h} = 4.8 \text{ sg}$$

(6)

$$\beta_i = \sum_{k=1}^n x_{4(k)} * (t_p + t_a - \Delta t)$$

(7)

De acuerdo con Rodriguez (2016), se usará las velocidades promedio de un peatón y un vehículo en horario nocturno.

Tomando en cuenta el modelo teórico, se implementará y probará su eficacia utilizando el software Matlab, se podría utilizar cualquier lenguaje de programación para este fin, pero Matlab ofrece varias librerías especializadas en cálculos de datos usando matrices, lo que hace de este software el más idóneo para esta tarea.

Según los porcentajes de aparición de vehículos o personas durante la noche en diversos tipos de zonas de las que se forma la provincia de Cotopaxi, ya sean urbanas o rurales, dependerá de su clasificación que posibilidad existe de que aparezcan personas en la noche, y como el afán de la telegestión es brindar la máxima eficiencia a la activación de luminarias, se consideraran únicamente dos casos.

1. Existen personas o vehículos transitando por el área de acción de las lámparas y su luminosidad debe estar al 100%.
2. No existen personas ni vehículos y su luminosidad esta atenuada.

En el caso 2, se considera que la lámpara tenga una luminosidad atenuada, dicho porcentaje de atenuación será un valor que dependerá de la zona en que se encuentre la lámpara.

Uno de los factores más difíciles en este caso de predecir es la movilidad de las personas, y pese a que Google Maps tiene datos históricos de varios meses sobre este dato, es virtualmente imposible predecir cuantas personas se movilizaran en una noche determinada, esto hace que la movilidad sea una variable probabilística, y en este caso, será una variable diferente para cada una de las zonas, ya que tienen un comportamiento diferente cada una de ellas.

Las ecuaciones que describen el comportamiento de la movilidad en cada zona esta dada por:

### Zona 1 – Urbana Rosa

$$x_4 = 0,0003x_5^4 - 0,0065x_5^3 + 0,0381x_5^2 - 0,0959x_5 + 0,9315$$

(8)

**Zona 2 – Urbana comercial**

$$x_4 = -0,0000007x_5^4 + 0,0008x_5^3 + 0,018x_5^2 - 0,2044x_5 + 1,1986$$

(9)

**Zona 3 – Calle principal urbana**

$$x_4 = -0,0000007x_5^4 + 0,0008x_5^3 + 0,018x_5^2 - 0,2044x_5 + 1,1986$$

(10)

**Zona 4 – Calle secundaria urbana**

$$x_4 = -0,00004x_5^4 + 0,0003x_5^3 + 0,0176x_5^2 - 0,2753x_5 + 1,0662$$

(11)

**Zona 5 – Urbana residencial**

$$x_4 = -0,00004x_5^4 + 0,0003x_5^3 + 0,0176x_5^2 - 0,2753x_5 + 1,0662$$

(12)

**Zona 6 – Acceso principal rural**

$$x_4 = 0,0009x_5^4 - 0,0035x_5^3 + 0,0545x_5^2 - 0,3703x_5 + 0,9257$$

(13)

**Zona 7 – Calle secundaria rural**

$$x_4 = 0,0001x_5^4 - 0,0035x_5^3 + 0,04x_5^2 - 0,2164x_5 + 0,4905$$

(14)

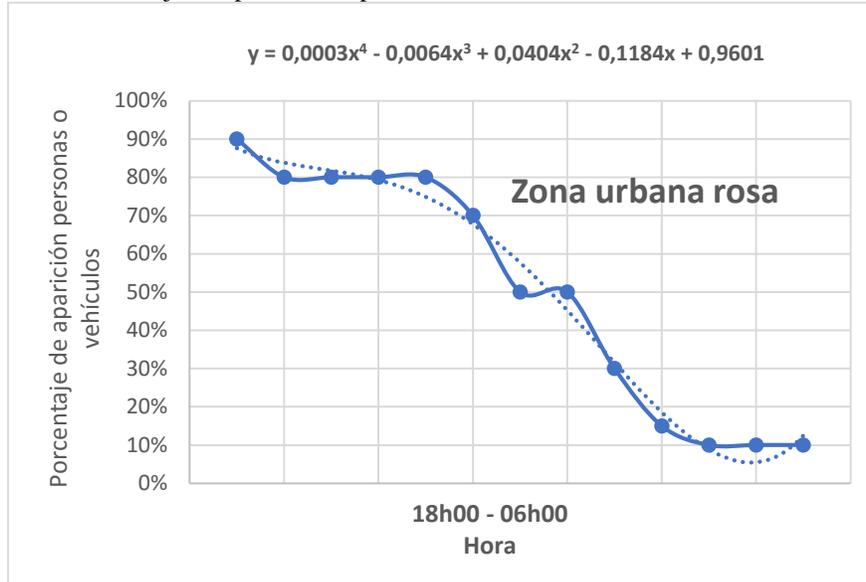
**Zona 8 – Residencial rural**

$$x_4 = 0,0001x_5^4 - 0,0055x_5^3 + 0,04x_5^2 - 0,2164x_5 + 0,4965$$

(15)

El error máximo calculado en las ecuaciones de movilidad es de 3.31%, lo que implica que las funciones polinómicas son fiables.

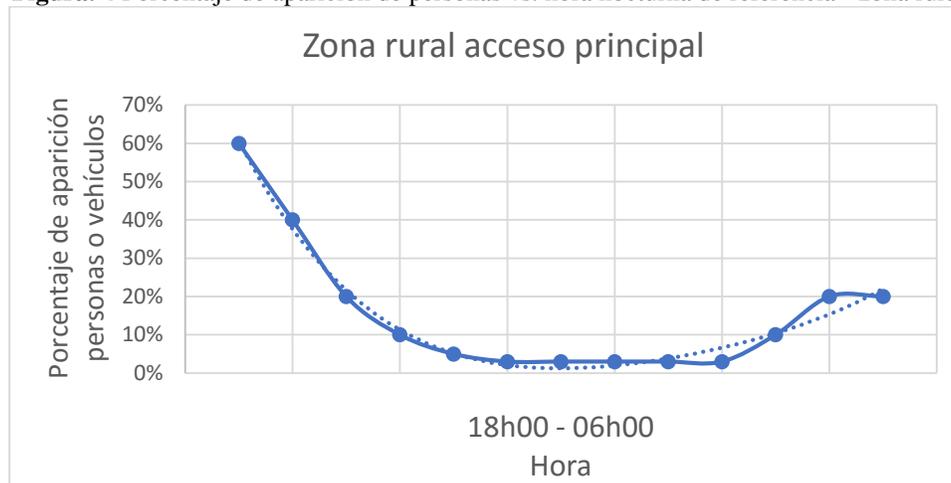
**Figura. 3** Porcentaje de aparición de personas vs. hora nocturna de referencia-zona urbana



**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

**Figura. 4** Porcentaje de aparición de personas vs. hora nocturna de referencia - zona rural



**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

## **Metodología**

### *Diseño de investigación*

Para el desarrollo de la presente investigación se aplicó el diseño mixto, debido a que describe cualitativamente el impacto de la tele gestión en el alumbrado público del Ecuador a través de indicadores de eficiencia energética; y una descripción cuantitativa de los valores aproximados de ahorro energético los que se traducen en dinero que las empresas distribuidoras se ahorrarían

### *Tipo de investigación*

La presente investigación se apoyó en:

- *Caso de estudio:* Es de tipo caso de estudio debido a que se pretende analizar todas las alternativas viables para una correcta implementación de telegestión en el alumbrado público, a su vez el impacto en caso de ser aplicada en el país.

### *Nivel de investigación*

*Explicativo – Descriptivo:* La presente investigación es de tipo descriptivo porque enfatiza las ventajas de la telegestión al momento de aplicarse al alumbrado público, definiendo las ventajas y desventajas. Y es de tipo explicativo ya que pretende explicar los beneficios de la telegestión en el país, aplicándolo al alumbrado público, siendo esa información una guía para que se ejecuten posteriormente análisis especializados en futuras implementaciones.

### *Modalidad de investigación*

*Enfoque histórico:* La presente investigación es de enfoque histórico con recopilación de datos con el crecimiento del APG desde 2012-2020, permitiendo desarrollar un análisis prospectivo mediante el uso del modelo de Holt Winters, como también las ventajas técnicas y económicas en la implementación de proyectos de telegestión.

### *Métodos de investigación*

#### *Método Inductivo*

Este método nos permite realizar un estudio prospectivo del alumbrado público, como también valor el consumo energético de LED con Telegestión y así identificar su influencia en la matriz energética.

#### *Método de análisis y síntesis*

Este método nos permite realizar un análisis individual de los equipos de telegestión y su influencia en la eficiencia energética, permitiendo realizar el estudio prospectivo del alumbrado público con esta tecnología.

### *Hipótesis*

La población ecuatoriana requiere periódicamente nuevas instalaciones de alumbrado público por la tendencia de crecimiento, y es por esto que surge la viabilidad de la telegestión para optimizar el consumo de dichas instalaciones, representando ganancias económicas y siendo beneficioso para el medio ambiente, además se estima lograr significativos porcentajes de optimización, los cuales sean atractivos para las empresas nacionales y motiven a su implementación progresiva en Ecuador

### *Técnicas de investigación*

Para la presente investigación se consideró las siguientes técnicas de investigación:

**Tabla 2** Técnicas de investigación

<b>TÉCNICAS</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
METODOLOGÍA HOLT WINTERS	Identifica las tendencias tecnológicas a implementar en el sector de alumbrado público, determinar lugares óptimos para su implementación, y por medio de esta investigación gestionar el plan estratégico.  Además se usa un análisis de series cronológicas o temporales aplicado a la base de datos en ArcGIS de la empresa eléctrica provincial de Cotopaxi, la cual detalla ubicación, numero de lámparas, tecnología y potencia instalada de las luminarias en la provincia desde el año 2012 hasta el 2020

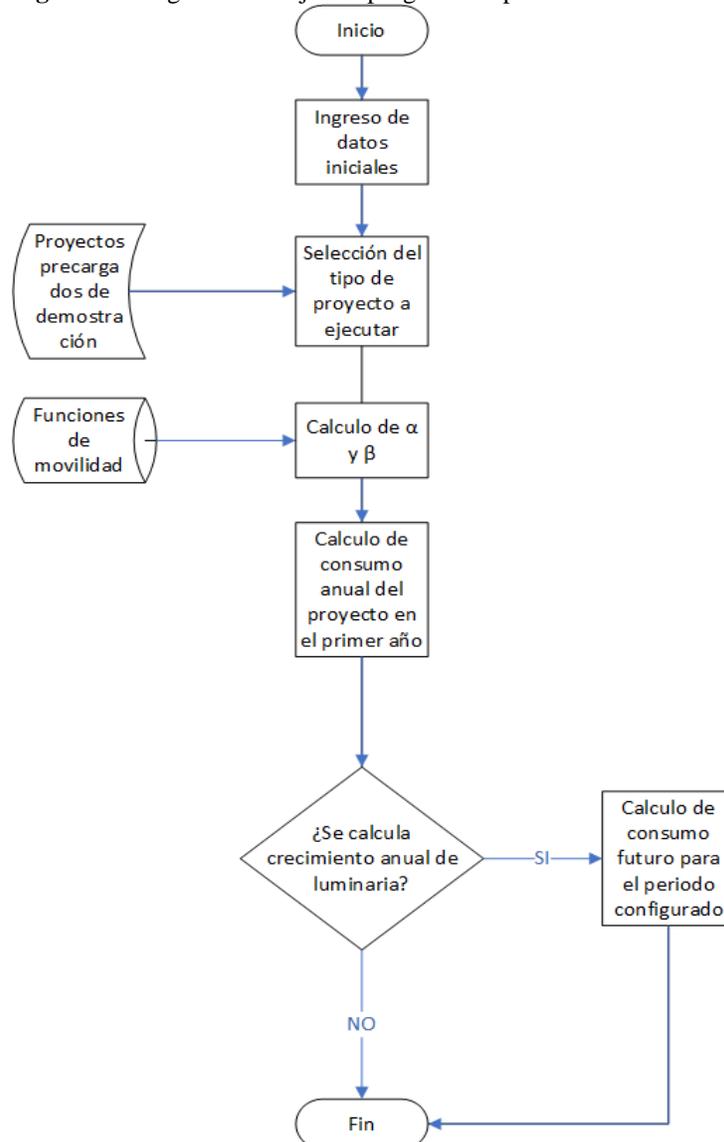
**Fuente:** Chávez (2019)

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

### **Resultados**

Se ha creado un programa en Matlab para calcular los consumos diarios en base a las ecuaciones planteadas el cual ejecutara acciones en base al diagrama de flujo mostrado en la fig. 5.

Figura. 5 Diagrama de flujo del programa implementado en Matlab



Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

La herramienta de cálculo desarrollado nos permite analizar tres situaciones:

1. Se desea evaluar una nueva implementación de luminaria y se requiere analizar el impacto de la telegestión a corto, mediano y largo plazo
2. Se requiere hacer una sustitución completa de luminarias en un periodo establecido y se busca comparar el impacto de la telegestión en un corto, mediano y largo plazo, además de la repercusión en los consumos en distintos intervalos de sustitución de luminaria.

- Se requiere realizar el análisis de una sustitución parcial de luminarias y se busca cuantificar el ahorro en el consumo al instalar telegestión en luminarias LED y si es rentable invertir para tener dicho ahorro.

### Análisis Estadístico

Cabe recalcar que se realizó un análisis estadístico para conocer el escenario base para la implementación del sistema de telegestión

**Tabla 3** Porcentaje de luminarias instaladas

<b>TIPO</b>	<b>Cantidad Instaladas</b>		<b>Potencia Instalada W</b>	
		<b>%</b>		<b>%</b>
<i>LED</i>	1495	2.79	150111	1.88
<i>Mercurio abierta</i>	1622	3.04	252800	3.16
<i>Mercurio cerrada</i>	1999	3.73	280365	3.51
<i>Proyector mercurio</i>	155	0.29	48100	0.6
<i>Proyector sodio</i>	568	1.06	171950	2.15
<i>Sodio abierta</i>	365	0.68	51950	0.65
<i>Sodio cerrada</i>	47340	88.41	7036980	88.05
<b>Total</b>	<b>53544</b>	<b>100</b>	<b>7992256</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

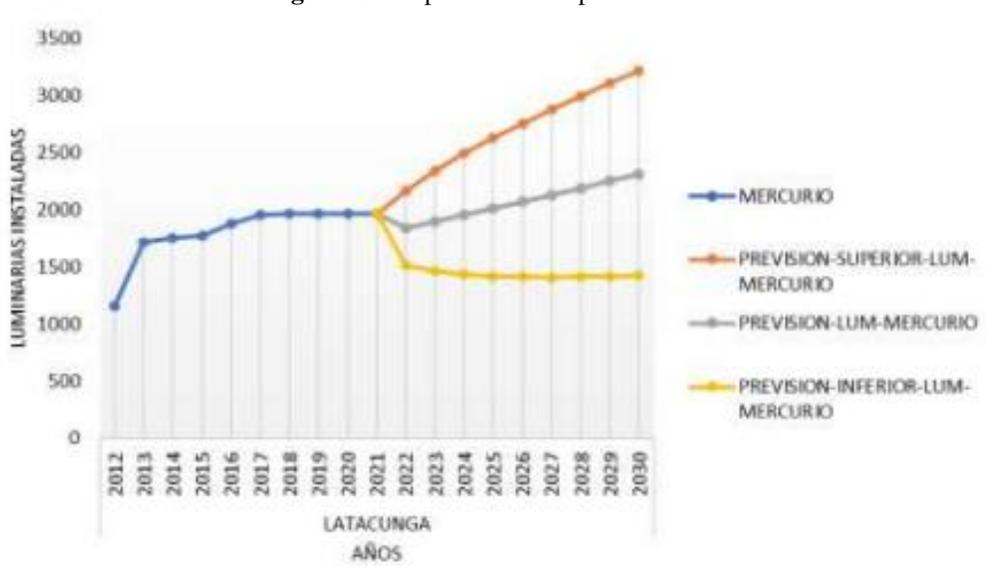
En relación con el análisis estadístico se puede evidenciar que en consecuencia de las tecnologías obsoletas, el resultado del estudio estadístico arroja el cambio o sustitución de las lámparas de mercurio, las cuales representan el 7.05%, con una potencia instalada (W) de 0.58MW.

Además para conocer la factibilidad y aceptación de implementación del sistema de telegestión, se calculo la prospectiva de lámparas de mercurio.

En la fig. 6 se presentan las proyecciones, en donde la línea azul representa la tendencia de crecimiento de los años 2012-2021; la línea amarilla consiste en una previsión superior, la cual establece que se alcanzará aproximadamente 3 mil luminarias que serán instaladas; la línea naranja

hace referencia a la previsión media, en la cual se maneja un crecimiento bajo de este tipo de lámpara, en relación a lo expuesto anteriormente quedaría descartado la precisión superior y normal, siendo la previsión aceptable la de color plomo, la cual indica con los resultados la sustitución o retiro de este tipo de lámpara.

**Figura. 6** Prospectiva de lámparas de Mercurio.

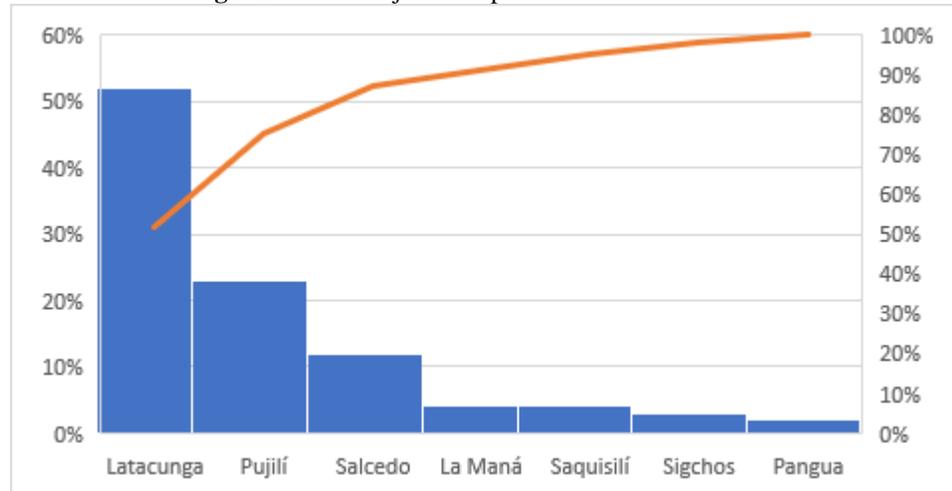


**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

En relación con la gráfica se puede decir también que se presenta un crecimiento del 3% en la instalación de este tipo de luminarias, por lo cual se mencionó como primer escenario la sustitución de lámparas de mercurio por lámparas de Sodio o Led, tomando en cuenta que además las lámparas de Sodio son las utilizadas en las Zonas Urbanas.

**Figura. 7** Porcentaje de lámparas de Mercurio.



**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

Por medio del diagrama de Pareto al analizar la distribución de los datos en relación con la frecuencia de estos, se determinó que en el cantón Latacunga el 52% de luminarias corresponde a lámparas de mercurio, lo cual evidencia la sustitución por lámparas de Sodio.

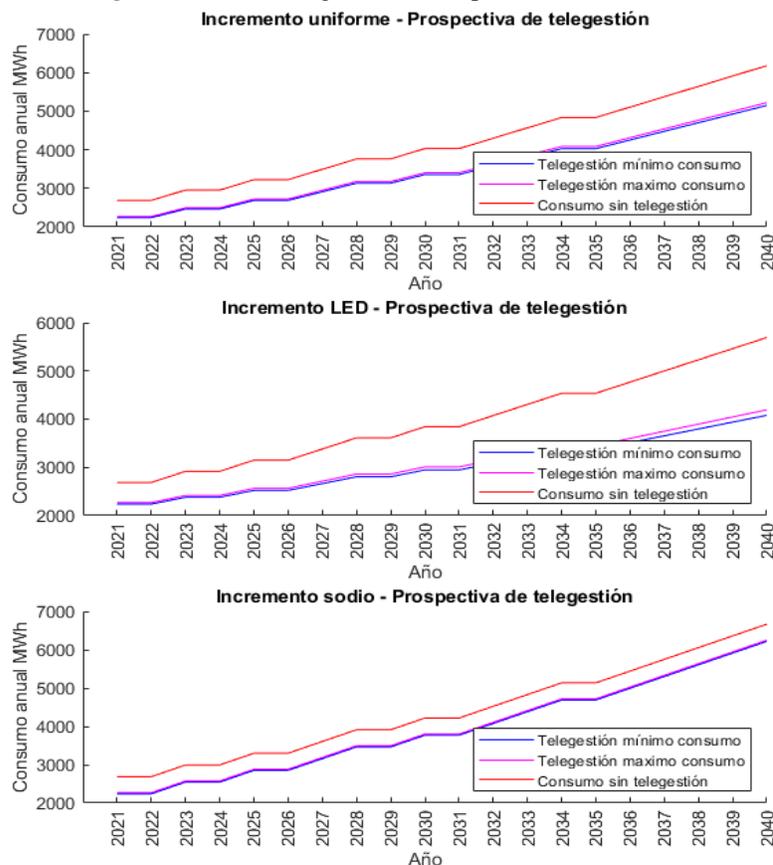
### **Análisis Matemático**

Se pueden considerar tres casos que estarán en función del tipo análisis, la cual necesite hacer el usuario, a estas opciones las llamaremos casos, en total se tendrán tres casos en los que se puede calcular los consumos anuales en el intervalo que ingrese el usuario en el cuadro correspondiente. El programa de Matlab, en el caso 1 es capaz de tomar una tasa de crecimiento y mostrar una perspectiva de consumo a corto, mediano y largo plazo presentando distintos escenarios de crecimiento como se indica en la Fig. 6, de esta forma se presenta un posible consumo en caso de que los incrementos de luminaria sean solo de sodio, solo LED o si el incremento es uniforme en ambas tecnologías, haciendo una diferenciación en el caso de que las lámparas LED usen telegestión o sean lámparas sin luminosidad regulable.

El caso dos del modelo teórico mostrado en la Fig. 7 Nos permite emular un reemplazo total de luminarias, y analizar los consumos generados usando telegestión o simplemente un reemplazo por tecnología LED, en este caso se puede estimar el consumo futuro del sistema de forma anual y configurar los años en que se pretende sustituir las luminarias a la nueva tecnología, lo cual se aplica

a proyectos grandes en que se tenga varias etapas de implementación hasta llegar al objetivo propuesto.

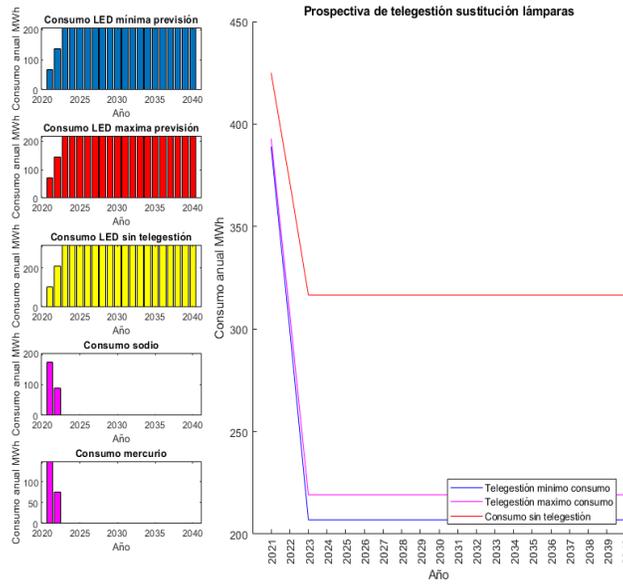
**Figura. 8** Resultados generados al aplicar el caso 1.



**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

**Figura. 9** Resultados generados al aplicar el caso 2

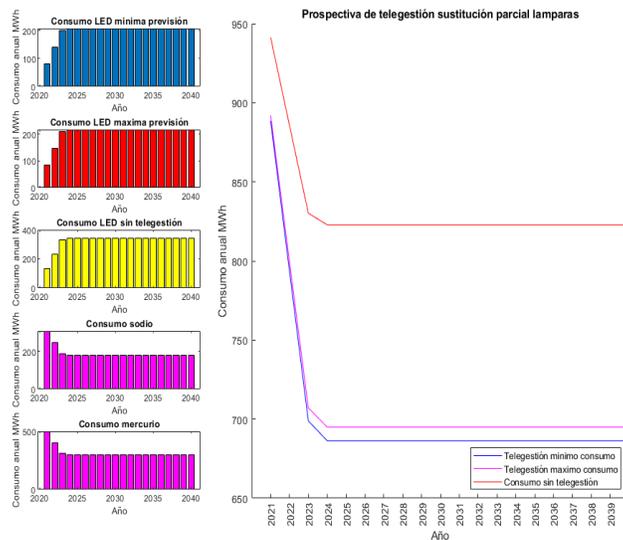


**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

En la Fig. 8 se muestra los resultados al ejecutar el caso 3 en la herramienta de cálculo que consiste en emular una sustitución parcial de luminarias y mostrar los consumos a corto, medio y largo plazo.

**Figura. 10** Resultados generados al aplicar el caso 3



**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Martínez Raúl; Molina Patricio & Tapia Galo

Se hace énfasis en la comparativa entre la telegestión y un reemplazo LED sin ningún tipo de control, al igual que en el caso 2, se puede configurar los años en que se realizará el cambio, esto aplicado a casos en que la sustitución se realizará en varios proyectos y en diferentes periodos de tiempo.

## Discusión

Tal como se puede comparar, entre las Fig. 3 y 4, existe un comportamiento diferente al momento de cuantificar la probabilidad de aparición de vehículos o personas durante la noche en varias zonas de la provincia, esto hace que luego de realizar una interpolación a cada una de las zonas se obtengan diferentes funciones polinómicas que componen el algoritmo de prospectiva de telegestión con el afán de calcular los parámetros de tiempo en que la lámpara operara al 100% y el tiempo en que la lámpara este regulada. Pese a que se tienen las funciones que representan el incremento o decremento de la posibilidad de aparición de personas o vehículos, eso no garantiza una predicción del número exacto de peatones o vehículos que aparecerán a determinada hora en una zona específica, sigue siendo un factor probabilístico, es por eso que, si no se puede calcular un caso con precisión y exactitud, se puede calcular un escenario en que se tomara en cuenta la máxima cantidad de personas que podrían pasar por una lámpara al que llamaremos máximo, y un caso en que se calculara la mínima movilidad por las lámparas, al que se llamara mínimo.

La manera en que el tipo de zona influye en la movilidad demuestra que para cada sector de la provincia existen diferentes requerimientos de iluminación, y al momento de calcular los consumos anuales es importante considerar la demografía, debido a que las zonas que actualmente son rurales pueden convertirse en urbanas, y eso ocasiona que la función de movilidad cambie drásticamente afectando directamente en los consumos de los proyectos.

## Conclusiones

- Las variables utilizadas en la herramienta de cálculo influyen de manera directa en el consumo de las lámparas led, en función a la movilidad y afluencia peatonal, obteniendo resultados inferiores a un 4% a los cálculos tradicionales.
- Las ecuaciones de cálculo de consumo diarios en base a funciones probabilísticas, presenta un ahorro máximo y mínimo debido que es imposible predecir el número exacto de personas que circularan por las vías de la ciudad, por lo tanto, cualquier evento posible de consumo

estará enmarcado entre el valor de consumo máximo y consumo mínimo, con un error de 3.31%.

- Los consumos obtenidos mediante la herramienta de cálculo, es de 4.1% menor al calculador con factor de utilización, lo que implica que programar lámparas con nivel de iluminación fijo en periodos de tiempo establecidos, no es la alternativa más eficiente.

## Referencias

1. Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte EEASA. (2016). Unida y Solidaria. *Revista EEASA* , 1-112.
2. Acuña, H., & Konow, I. (1990). *Métodos y Técnicas de investigación prospectiva para la toma de decisiones*. Chile: FUNTURO.
3. ARCONEL. (2018). *Regulación Nro. 054/2018*. Quito.
4. CALIDAD, M. D. (2012). *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 "ALUMBRADO PÚBLICO"*. Quito.
5. CONELEC. (2018). *Regulación-No.-CONELEC-005\_14-Prestación-APG*. QUITO: CONELEC.
6. Consejo Nacional de Electricidad. (2016). *Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental*. Quito: CONELEC.
7. Ecuador, C. d. (2008). *CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR*. Quito.
8. Esparza Catalán, C. (2018). *Series Temporales*. CSIC.
9. Flores Lora, R. O. (2018). *Ahorro Energético en alumbrado público con el desarrollo de un prototipo de sistema de telegestión remoto para lámparas tipo Led de la Empresa Eléctrica MELNORTE S.A.* Quito: EPN.
10. Gonzales Loaiza, P. D. (2014). *"Telegestión del alumbrado público con tecnología LED"*. Loja-Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
11. Miklos, T. (2015). *Planeación prospectiva y estratégica*. Mexico: Reduaz.
12. Ministerio de Turismo. (19 de Enero de 2019). *MOVIMIENTOS INTERNOS: GEOVIT*. Recuperado el 19 de Marzo de 2021, de <https://servicios.turismo.gob.ec/boletin-coyuntural-de-alojamiento/8-turismo-en-cifras/movimientos-internos-geovit/289>

13. Ocerin, J. C. (2018). *Econometría: modelos econométricos y series temporales*. Barcelona: Reverté S.A.
14. Pérez, C. (2006). *Econometria de las Series Temporales*. PRENTICE-HALL.
15. Renovables, M. d. (2019). Plan Maestro de Electricidad. II, 100.
16. Rodriguez, A. (2016). *TELEGESTIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO INTELIGENTE PARA EL PARQUE METROPOLITANO EL TUNAL UBICADO EN LA CIUDAD DE BOGOTA*. BOGOTA: UNIVERSIDAD DE LA SALLE.
17. Rueda Flores, J. A. (2020). *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEGESTIÓN QUE PERMITA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL CENTRO HISTÓRICO DE IBARRA CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE S.A*. Latacunga: ESPE.
18. Tama Franco, A. (2012). *La revolucion del alumbrado publico*. Quito: ESPOL.