

**Análisis del Modelo Prospectivo para Estimar la Viabilidad Económica de la Tecnología de Telegestión en Luminaria Pública**

**Analysis of the Prospective Model to Estimate the Economic Viability of Remote Management Technology in Public Lighting**

**Galo Marcelo Tapia-Estrella<sup>1</sup>**  
Instituto Superior Tecnológico Tungurahua - Ecuador  
gtapia.istt@gmail.com

**Carlos Ramiro Corrales-Tapia<sup>2</sup>**  
Instituto Superior Tecnológico Tungurahua - Ecuador  
ccorrales.istt@gmail.com

**Gabriel Alejandro Vaca-Ortega<sup>3</sup>**  
Instituto Superior Tecnológico Tungurahua - Ecuador  
electrónico:gvaca.istt@gmail.com

**[doi.org/10.33386/593dp.2023.4.1883](https://doi.org/10.33386/593dp.2023.4.1883)**

V8-N4 (jul-ago) 2023, pp. 257-271 | Recibido: 17 de abril de 2023 - Aceptado: 31 de mayo de 2023 (2 ronda rev.)

---

1 Ingeniero mecatrónico con maestría en electricidad, mención sistemas eléctricos de potencia, con experiencia en mantenimiento de sistemas de generación en centrales de generación hidroeléctrica y de redes de baja y media tensión, experiencia en diseño de elementos de máquinas y operación de sistemas flexibles de manufactura CNC

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5107-9773>

2 Ingeniero Electromecánico con especialidad en Sistemas Eléctricos de Potencia, dedicado a la docencia e investigación con énfasis en el desarrollo de energías sustentables. Actualmente me desempeño como docente investigador en el Instituto Superior Tecnológico Tungurahua de la ciudad de Ambato

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4604-8929>

3 Nació en Ambato, Tungurahua, Ecuador en 1988. Recibió el grado en Ingeniería Electrónica de la Universidad Técnica de Ambato, en 2012 y la Maestría en Gestión de Sistemas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en 2018.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6192-7868>

Descargar para Mendeley y Zotero

## RESUMEN

El presente artículo presenta los resultados de una posible migración a lámparas LED con tecnología de telegestión en luminaria pública de la provincia de Cotopaxi, para ello se usa la base de datos de ELEPCO S.A. donde constan las luminarias instaladas en la provincia, dicha base de datos es actualizada de forma anual, y al tener los datos de años anteriores, es posible aplicar el modelo de Holt-Winters para estimar los consumos energéticos futuros ya que la iluminación pública crece constantemente, una vez estimado el consumo a corto, medio y largo plazo, se proponen proyectos de migración de telegestión y se evalúa económicamente su impacto, deduciendo si es o no monetariamente viable. Los hallazgos de las métricas obtenidas de ahorro identificaron una mejoría al migrar a tecnología LED, además se agregó a la telegestión para generar valor agregado. En este sentido, al reemplazar el consumo por tecnología LED y telegestión, se obtendría un ahorro del 27.46% al 33.08%, un 18.25% más que con únicamente migración a tecnología LED. Se concluyó que, la inversión supera al ahorro durante el tiempo de vida de los equipos.

**Palabras clave:** alumbrado público general (APG); telegestión; holt-winters; iluminación LED.

## ABSTRACT

This article presents the results of a possible migration to LED lamps with remote management technology in public lighting in the province of Cotopaxi, for which the ELEPCO S.A. database is used. where the luminaires installed in the province are recorded, said database is updated annually, and having data from previous years, it is possible to apply the Holt-Winters model to estimate future energy consumption since public lighting is constantly growing. Once short, medium and long-term consumption has been estimated, remote management migration projects are proposed and their impact is economically evaluated, deducing whether or not it is monetarily viable. The findings of the savings metrics obtained identified an improvement when migrating to LED technology, in addition to remote management to generate added value. In this sense, by replacing consumption with LED technology and remote management, a saving of 27.46% to 33.08% would be obtained, 18.25% more than with only migration to LED technology. It was concluded that the investment exceeds the savings during the life of the equipment.

**Keywords:** general public lighting (GPL); remote management; holt-winters; LED lighting.

## Introducción

El uso de lámparas LED con tecnología de telegestión (TG) en el alumbrado público puede ofrecer una serie de beneficios, entre los que se incluyen: a) Ahorro de energía: Las lámparas LED consumen menos energía que las lámparas convencionales, lo que se traduce en un ahorro de energía y en una reducción de los costos de electricidad para las entidades gubernamentales, b) Mayor durabilidad: las lámparas LED tienen una vida útil más larga que las lámparas convencionales, lo que significa que se necesitan menos reemplazos y se reducen los costos de mantenimiento, c) Control remoto: la tecnología de telegestión permite controlar las lámparas LED de manera remota, lo que facilita el mantenimiento y la gestión del alumbrado público, d) Mayor eficiencia: la tecnología de telegestión también permite ajustar el nivel de iluminación en función de las necesidades específicas de cada área, lo que reduce el desperdicio de energía y mejora la eficiencia del sistema de alumbrado, y, e) Mayor seguridad: la iluminación adecuada en las calles y las áreas públicas puede mejorar la seguridad y reducir el riesgo de delitos, lo que hace que el uso de lámparas LED con tecnología de telegestión sea una opción atractiva para las entidades gubernamentales que buscan mejorar la seguridad pública (Dheena, et al., 2017). En resumen, el uso de lámparas LED con tecnología de telegestión en el alumbrado público puede ofrecer una serie de beneficios significativos, que van desde un ahorro de energía y una mayor durabilidad hasta un control remoto más fácil y una mayor seguridad pública (Popa & Marcu, 2021).

Las lámparas LED con tecnología de telegestión tienen un gran potencial para mejorar la eficiencia energética de la iluminación pública y reducir el impacto ambiental. Una de las principales ventajas de las lámparas LED es su alta eficiencia energética, lo que significa que consumen menos energía y producen menos emisiones de dióxido de carbono en comparación con las lámparas incandescentes y fluorescentes convencionales. Además, la tecnología de telegestión permite el control remoto de las lámparas, lo que permite ajustar la intensidad de la luz según las necesidades específicas del entorno, reducir la contaminación lumínica y optimizar el consumo de energía (Popa & Cepișcă, 2022).

Otra ventaja importante de las lámparas LED con tecnología de telegestión es su capacidad para proporcionar datos en tiempo real sobre el consumo de energía y el estado de las lámparas. Esto permite a los administradores del alumbrado público monitorear y controlar las luces de manera más efectiva y eficiente, optimizando la programación del encendido y apagado, identificando rápidamente los puntos de falla y realizando mantenimiento preventivo. En resumen, el uso de lámparas LED con tecnología de telegestión no solo reduce el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también permite una gestión más eficiente y efectiva del alumbrado público (Eriyadi, et al., 2021).

Actualmente, las lámparas LED con tecnología de telegestión son una de las soluciones más avanzadas y efectivas para el alumbrado público. Los avances en la tecnología LED han permitido una mayor eficiencia energética y una mayor duración de las lámparas, lo que ha llevado a una adopción creciente en todo el mundo (Sumathi, et al., 2013).

La tecnología de telegestión también ha avanzado significativamente, permitiendo a los administradores del alumbrado público monitorear y controlar el estado de las lámparas de manera remota y en tiempo real, y ajustar la intensidad de la luz según las necesidades específicas del entorno. Además, los sistemas de telegestión pueden recopilar datos sobre el consumo de energía y el estado de las lámparas, lo que permite una gestión más eficiente y efectiva del alumbrado público (Abdullah, et al., 2019).

En países como Pakistán, Nueva Zelanda, y Sur América (Popa & Marcu, 2021; Sumathi, et al., 2013; Abdullah, et al., 2019), las lámparas LED con tecnología de TG están siendo adoptadas rápidamente como la solución estándar para el alumbrado público. Por ejemplo, la Unión Europea ha establecido objetivos ambiciosos para la adopción de la tecnología LED y la TG en el alumbrado público como parte de su Estrategia de Eficiencia Energética. En otras regiones, como Asia y América Latina (Popa & Marcu, 2021), se están implementando proyectos piloto y programas de incentivos para la adopción de la tecnología LED y la TG en el alumbrado público. En resumen, las lámparas LED con tecnología de TG son una tecnología avanzada y en constante evolución que está siendo ampliamente adoptada

en todo el mundo para mejorar la eficiencia y efectividad del alumbrado público. Por lo tanto, se planteó el objetivo de analizar la viabilidad de la instalación de lámparas LED con tecnología de TG.

### Factor de utilización (Fu) para telegestión

Actualmente el alumbrado público registra un periodo de operación de 12 horas comprendidos entre 18:00 a 6:00 am, donde operan al 100% de la potencia instalada, es necesario establecer parámetros de operación de acuerdo con la afluencia vehicular, peatonal y días feriados sin incumplir los parámetros requeridos por condiciones viales.

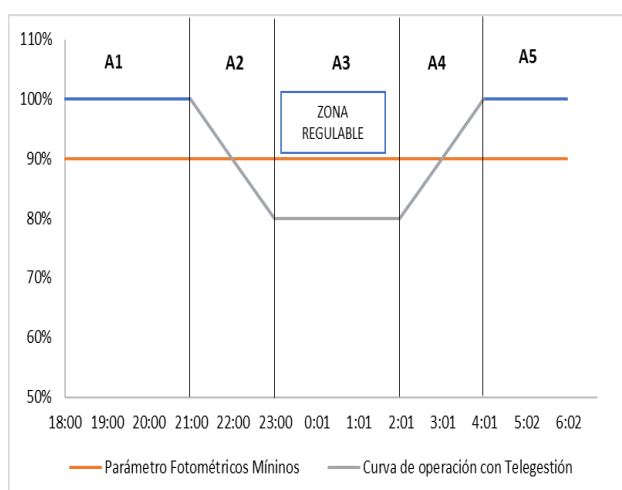
Es así como se establece nuevos criterios de operación del alumbrado público mediante el uso de Telegestión, la finalidad es manejar un ahorro energético por tal motivo es manejar un perfil de regulación personalizado.

Se maneja en combinaciones de cinco intervalos de tiempo y niveles de luz, el sistema de regulación personalizado supone un ahorro de energía máximo, siempre respetando los niveles de iluminación requeridos y la uniformidad durante toda la noche.

A continuación, se presenta un ejemplo de regulación personalizada para el control de luminarias con telegestión.

### Figura 1

*Regulación de intervalos de tiempo y niveles de Luz*



En función a la lámpara usada o proyectada se establece los rangos de operación, mediante el uso del Software DIALux, se realiza las simulaciones con la finalidad de verificar el límite inferior de potencia de trabajo.

Como se observa en la figura se encuentra conformada por 5 zonas de operación, en relación con el tipo de vía, se verán afectadas en el horario de ingreso y salida a las diferentes zonas.

**ZONA 1:** Encendido al 100% de la potencia nominal en el periodo de 18:00 a 21:00, tiempo de salida e ingreso a zona 2, varía en función a condiciones geográficas y sociales.

**ZONA 2:** Debido a la reducción de transeúntes, se realiza un control graduado de la potencia de las luminarias, hasta ingresar a zona 3 donde no existe afluencia vehicular y peatonal.

**ZONA 3:** Escasa o nula afluencia de personas, se puede manejar rangos de operación entre 70-80%, el criterio puede variar entre operadores. Autores

**ZONA 4:** Se registra un incremento de afluencia vehicular y peatonal, se realiza un incremento progresivo de la potencia de luminaria, con la finalidad de brindar seguridad a los transeúntes.

**ZONA 5:** Afluencia de personas, es necesaria el 100% de la iluminación.

Al configurar los intervalos de tiempo y niveles de luz, en la figura 1, se observa un área con Zona regulable, esta representa el ahorro energético que se encuentra en el rango de 40-80%, es así como el Factor de utilización de las luminarias, es menor a 0.5 en un intervalo de  $0.27 < fu < 0.5$ , dependiendo de la configuración previamente establecida.

### Método

### Comunicaciones en un sistema de telegestión

Para la comunicación entre los 3 niveles de telegestión se lo realiza mediante un sistema de telecomunicaciones, el mismo que transmite la información desde el centro de control a los diferentes componentes del sistema del alumbrado público, los métodos de comunicación usados son los siguientes: Onda portadora (PLC) y comunicaciones inalámbricas como radio, Wifi, Zig Bee y telefonía celular (GPRS/3G) (Flores Lora, 2018).

Todas las señales de estado se transmiten por los módulos de comunicación, los mismos que son almacenados en base de datos, los operadores pueden acceder a los datos del alumbrado público mediante una interfaz gráfica, donde se visualiza los diferentes eventos en tiempo real (Flores Lora, 2018).

### Parámetros fotométricos para iluminación vial

En iluminación vial se debe considerar una adecuada intensidad luminosa, la misma que depende del día y hora y las actividades que se desarrollan.

La disposición y regulación de la iluminación vial depende del uso de la vía:

Tipo de vía y zonas especiales.

Intensidad, velocidad y composición de tráfico.

Tiempo de utilización de luces de cruce.

Como se observa en la tabla 1 se debe cumplir niveles mínimos de luminancia, de tal forma que no se puede operar en el rango de 1-100% de la potencia de la luminaria (Flores Lora, 2018).

### Vías para tráfico motorizado

La clasificación del alumbrado está clasificada de M1 a M5, dependiendo de varios factores, Función de vía pública, densidad de tráfico, complejidad de tráfico, control de tráfico, señalizaciones, bajo estos parámetros se tipifica en la siguiente tabla 1 (ARCONEL, 2018).

**Tabla 1**

*Clase de alumbrado para diferentes tipos de vías públicas.*

Descripción de la vía	Tipo de iluminación
Vías de alta velocidad, con pistas separadas libres de intersecciones al mismo nivel y con accesos completamente controlados, autopistas, autovías. Con densidad de tráfico y complejidad de circulación	
<b>Alta</b> (más de 1000 vehículos/hora)	M1
<b>Media</b> (entre 500 y 1000 vehículos/hora)	M2
<b>Baja</b> (entre 150 y menos de 500 vehículos/hora)	M3

Vías de alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Con control de tráfico y separación (Nota 4) de diferentes usuarios de la vía

<b>Pobre</b>	M1
<b>Bueno</b>	M2

Vías urbanas de tráfico importante, carreteras radiales. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:

<b>Pobre</b>	M2
<b>Bueno</b>	M3

Vías secundarias de conexión, carreteras distribuidoras locales, vías de acceso principales residenciales, carreteras que proporcionan acceso a propiedades y conducen a conexiones de carreteras. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:

<b>Pobre</b>	M4
<b>Bueno</b>	M5

### Instrumento de evaluación: fotométricos para vías con tráfico motorizado

Los parámetros fotométricos se establecen de acuerdo con diferentes características de las vías como también de sus requerimientos visuales y asignar una clase de iluminación necesaria. A cada clase de iluminación se le establecen los requisitos fotométricos mínimos mantenidos a través del tiempo, los cuales se condensan en la Tabla 2 para luminancia, cuando este es el criterio aplicado (ARCONEL, 2018).

**Tabla 2**

*Parámetros fotométricos para vías con tráfico motorizado.*

Clase de iluminación	Todas las vías			Vías sin o poca intersección	Vías con aceras no iluminadas para clases P1 a P4
	Luminancia promedio cd/m <sup>2</sup> Mínimo Mantenido	Factor de Uniformidad Uo Mínimo	TI% Máxima Inicial	Factor de uniformidad Longitud de Luminancia UL min	Relación de entorno SR Minina
<b>M1</b>	2	0.4	10	0.7	0.5
<b>M2</b>	1.5	0.4	10	0.7	0.5
<b>M3</b>	1	0.4	10	0.7	0.5
<b>M4</b>	0.8	0.4	10	NR	NR
<b>M5</b>	0.6	0.4	10	NR	NR

### Vías para tráfico peatonal



**Tabla 3**

*Clase de iluminación para áreas peatonales y ciclistas.*

Clase de Iluminación	Descripción del uso de la calzada
P1	Vías de gran importancia.
P2	Utilización nocturna intensa por peatones y ciclistas.
P3	Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas.
P4	Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes.
P5	Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante mantener el lugar o el carácter arquitectónico del entorno.
P6	Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente.

Parámetros fotométricos para tráfico peatonal

Para vías peatonales y ciclísticas, se establecen los parámetros fotométricos para tráfico motorizado, en la tabla 4 se establece los valores mínimos de iluminación (Gonzales Loaiza, 2014).

**Tabla 4**

*Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal.*

Clase de iluminación	Iluminación (lx)	
	Valor Promedio	Valor Mínimo
P1	20	7,5
P2	10	3
P3	7,5	1,5
P4	5	1
P5	3	0,6
P6	1,5	0,2

Tráfico reportado en la noche para lugares de interés

El tráfico vehicular en la provincia de Cotopaxi para este caso se lo considera de forma cualitativa, definiendo una escala grafica mediante colores que describen 4 situaciones como lo menciona también Popa & Cepișcă (2022):

Verde: tráfico rápido, existe muy poca o nula presencia de vehículos

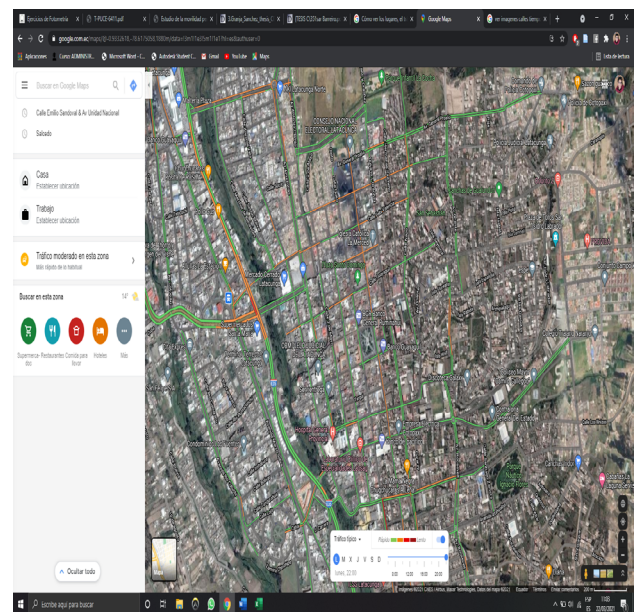
Naranja: tráfico fluido, existe poca presencia de vehículos y no existe congestión vehicular

Rojo: tráfico lento, existe presencia de varios vehículos que generan tráfico.

Burdeos: tráfico detenido, existe gran presencia vehicular que generan congestión vehicular.

**Figura 2**

*Tráfico en la ciudad de Latacunga*



Dentro de la ciudad existen varios tipos de vías, y para cada una de ellas se requiere un tipo de iluminación en particular, de una forma generalizada, en la siguiente tabla se describe la afluencia vehicular para cada una de ellas: (Panchi & Tapia, 2021)

**Tabla 5**

*Porcentaje de aparición de autos y peatones.*

No referencia	Hora	zona urbana rosa	zona urbana comercial	zona urbana calle principal	zona urbana calle secundaria	zona urbana residencial	zona rural acceso principal	zona rural calle secundaria	zona rural residencial
1	18h00	90%	100%	100%	80%	80%	60%	30%	30%
2	19h00	80%	80%	80%	60%	60%	40%	20%	20%
3	20h00	80%	60%	60%	40%	40%	20%	15%	15%
4	21h00	80%	50%	50%	30%	30%	10%	5%	5%
5	22h00	90%	30%	30%	10%	10%	5%	3%	3%
6	23h00	70%	20%	20%	5%	5%	3%	3%	3%
7	24h00	50%	10%	10%	3%	3%	3%	3%	3%
8	01h00	50%	5%	5%	3%	3%	3%	3%	3%
9	02h00	30%	5%	5%	3%	3%	3%	3%	3%
10	03h00	15%	5%	5%	3%	3%	3%	3%	3%
11	04h00	10%	15%	15%	5%	5%	10%	3%	3%
12	05h00	10%	20%	20%	10%	10%	20%	5%	5%
13	06h00	10%	40%	40%	15%	15%	20%	15%	15%

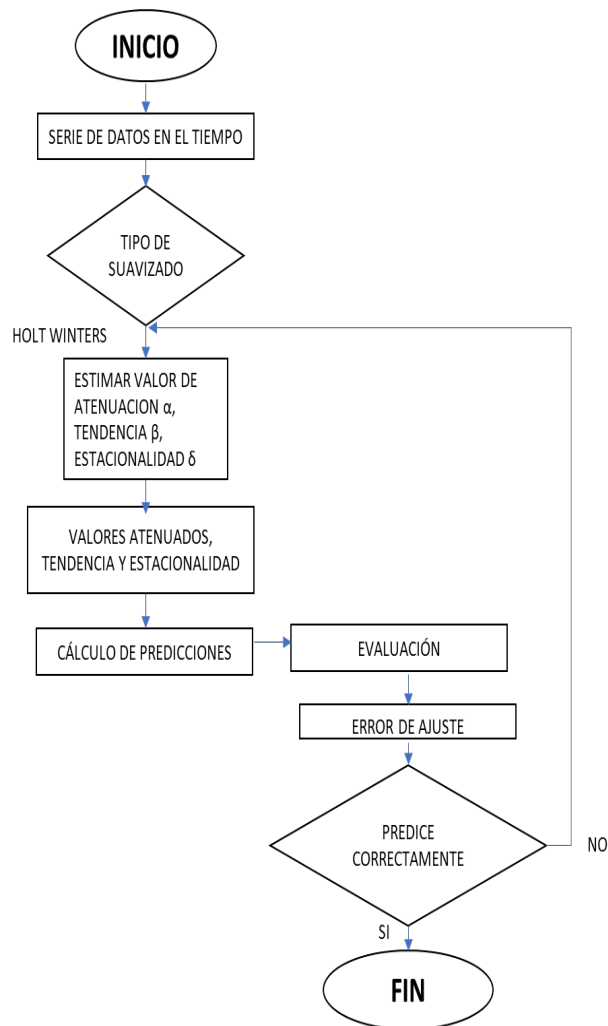
**Resultados**

**Modelos Holt Winters**

Conocido también como Suavizado exponencial triple (Método de Holt Winters), se basa en obtener estimaciones o pronósticos de valores futuros de una serie temporal a partir de la información histórica contenida en la serie observada hasta el momento actual.

**Figura 3**

*Diagrama de flujo de modelo Holt Winters*



Estas técnicas no requieren la especificación de los factores que determinan el comportamiento de la variable, sino que se basan únicamente en la modelización del comportamiento sistemático de la serie. Se consideran tres modelos posibles del comportamiento sistemático de una serie temporal: modelo estacionario (sin tendencia), modelo con tendencia lineal y modelo con estacionalidad. La técnica de predicción adecuada dependerá del modelo de comportamiento de la serie.

La suavización exponencial es probablemente el método más utilizado para la difusión. Se conocen modelos de suavización exponencial simple, doble o triple. Para las series temporales estacionales, es útil el modelo estacional de Holt-Winters, la suavización de forma multiplicativa se basa en el cálculo de cuatro componentes

### Plan de Mejoramiento de alumbrado público

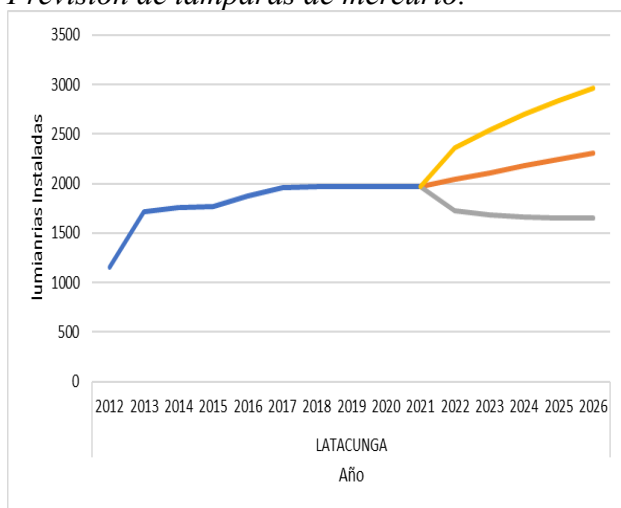
En el periodo de corto plazo a un tiempo de 3 años, se plantea el mejoramiento de Alumbrado Público, como se indica en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público”, literal 4.2.3, especifica que el uso de lámparas de vapor de mercurio de alta presión está prohibido para el uso de alumbrado público. (ARCONEL, 2018)

A continuación, se presentan diversos tipos de proyecciones relacionados a las luminarias de mercurio. Donde la línea color azul representa la tendencia de crecimiento desde el año 2012-2021, la línea amarilla hace referencia a una previsión superior, donde establece que se alcanzara un total de 3 mil luminarias instaladas, la línea naranja corresponde a la previsión media, donde maneja un crecimiento bajo de este tipo de lampara, en relación con lo mencionado anteriormente donde está prohibido el uso de esta tecnología, queda descartado la previsión superior y normal.

La previsión aceptable del modelo de Holt Winters es la de color ploma, donde se establece el retiro o sustitución de este tipo de lampara (Panchi & Tapia, 2021).

**Figura 4**

*Previsión de lámparas de mercurio.*



En los últimos años presenta un crecimiento de 3% en la instalación de estas luminarias, es así como el primer escenario es la sustitución de lámparas de mercurio por lámparas de Sodio y/o LED (Panchi & Tapia, 2021). A continuación, se indica un cuadro resumen donde es necesario el mejoramiento de alumbrado público, en varios cantones de la Provincia de Cotopaxi.

**Tabla 6**

*Cuadro Resumen de Lampara de Mercurio para sustitución.*

Mercurio								
AÑOS	LAMANA	LATACUNGA	PANGUA	PULLI	SALCEDO	SAQUISILÍ	SIGCHOS	Total
2012	4	1131		340	165	144	99	1883
2013	66	553	55	396	144		5	1219
2014		42			3			45
2015	63	9	2					74
2016	2	105		57	8	1		173
2017	1	46	4	1	7			59
2018		9		10	1			20
2019					2			2
2020	3	3	7		126			139
2021		3						3
Proyector Mercurio								
AÑOS	LAMANA	LATACUNGA	PANGUA	PULLI	SALCEDO	SAQUISILÍ	SIGCHOS	Total
2012		28		2	5	7	2	44
2013		6		12				18
2014	3			4				7
2015		4		18				22
2016		1						1
2017		32						32
2018		1	5					6
2019				13			6	19
2020	6							6
<b>Total</b>	<b>148</b>	<b>1973</b>	<b>73</b>	<b>853</b>	<b>461</b>	<b>152</b>	<b>112</b>	<b>3772</b>

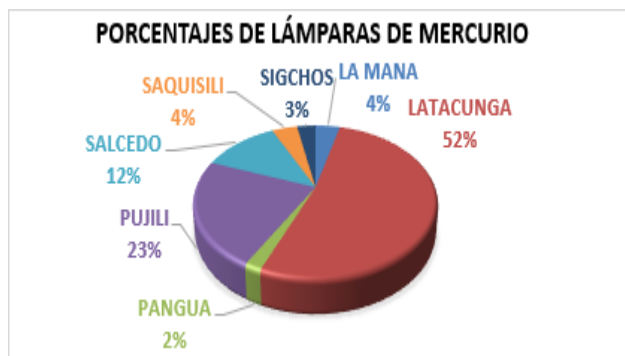
En función a un mejoramiento de alumbrado público, se establece planes de sustitución de lámparas de mercurio en los distintos cantones, esto se define en un periodo de corto plazo igual a 5 años (Panchi & Tapia, 2021).

Mediante el uso del Software ArcGIS, se identificó que este tipo de lampara se encuentra instalado en Zonas Urbanas, por tal motivo, la sustitución debe ser por lámparas de Sodio. En la figura 5 Se observa que en el Cantón Latacunga se encuentra un 52% se lámparas de mercurio, siendo necesario el reemplazo de estas en los primeros años de ejecución (Panchi & Tapia, 2021).



**Figura 5**

*Regulación de intervalos de tiempo y niveles de Luz.*

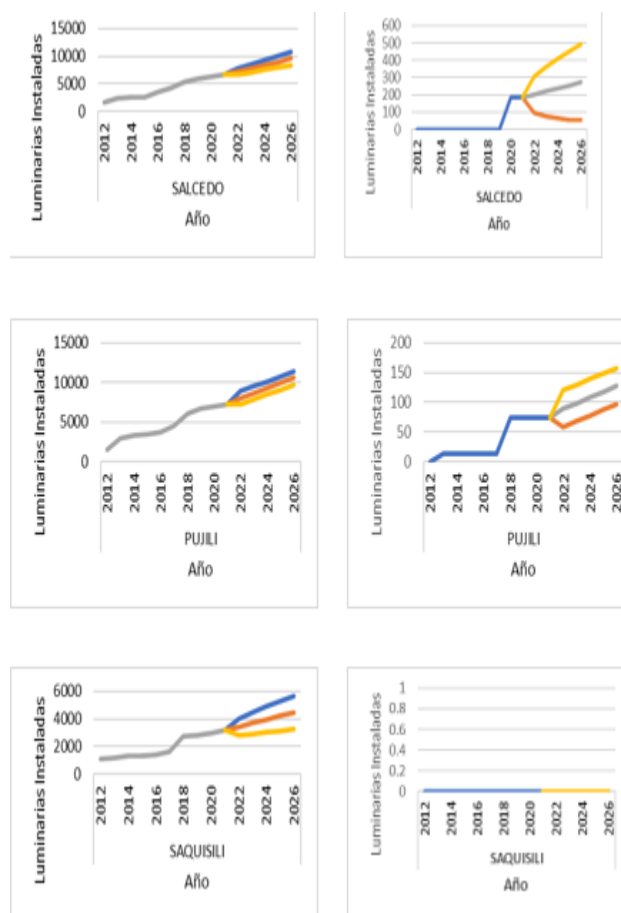
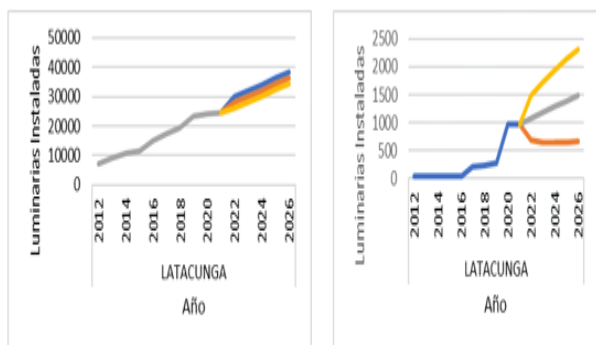


Prospectiva del alumbrado público-modelo de Holt Winters

En los cantones de la Provincia de Cotopaxi se manejan diferentes crecimientos en alumbrado público, entre los cuales, el Cantón Latacunga, Salcedo, Pujilí y Saquisilí registran mayor crecimiento, las previsiones mostradas a continuación, se basan en datos históricos presentando 3 tipos de previsión con límite superior, inferior y normal para lámparas de Sodio y LED (Panchi & Tapia, 2021).

**Tabla 7**

*Previsión de Lámparas Sodio y LED de varios Cantones.*



Para la proyección se realizó una discriminación de luminarias con tecnología obsoleta, se presenta un desarrollo con luminarias de Sodio, además se presenta una proyección en lámparas LED, la información mostrada se fundamenta en base a la Global Data Base (GDB) que maneja la empresa Eléctrica de Cotopaxi. En la última década existe proyecciones en tecnología LED, con mejores resultados en iluminación y rendimiento, es así como se requiere realizar la sustitución por las luminarias tradiciones (Panchi & Tapia, 2021).

**Plan de sustitución de luminarias Sodio a LED.**

En relación con la Provincia de Cotopaxi, la implementación del sistema LED con Telegestión se establecerá en la Zona Urbana tales como Avenidas principales, Avenidas de conexión Inter cantonales, Parques y Centros históricos, A continuación, se detalla uno de los proyectos considerados:

**Av. 5 de junio al intercambiador de Pujilí**

En la tabla 8, se establece un resumen de las cantidades de materiales y características técnicas existentes en la Av. 5 de junio al intercambiador de Pujilí.

**Tabla 8**

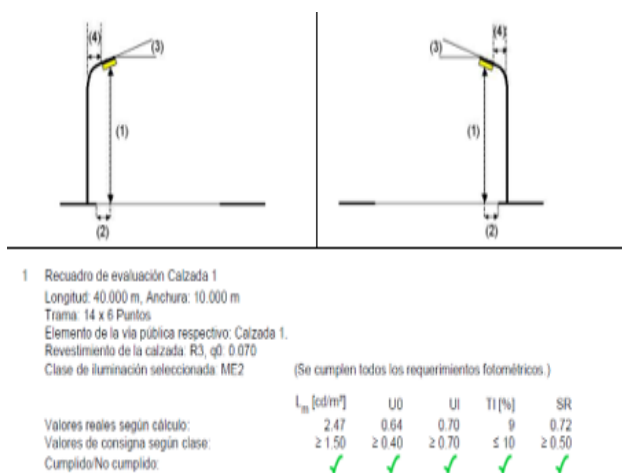
*Cantidades Existentes en Paso Lateral Latacunga Via E35.*

CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	LONGITUD DE VIA [km]	VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]	TIPO DE INSTALACIÓN
190	250	LDOS250ADC	4.41	35	20	Unilateral

Una calzada vehicular por lado, con ancho de 4 m (4 carriles de 4 m cada una) y un parterre central de 2 m. Pavimento clase R3, con un coeficiente de luminancia medio y factor de mantenimiento de 0,87 contaminación media. Mediante el modelamiento en el software Dialux se verificar que cumpla los rangos de iluminación acorde al tipo de vía como se indica a continuación.

**Figura 5**

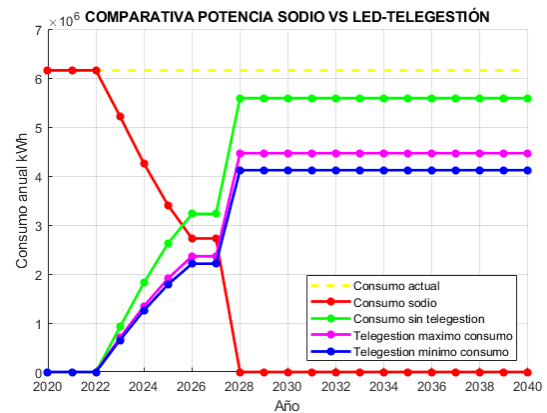
*Resultados fotométricos de lampara 200W- Marca LEDEX.*



Para los diversos Proyectos se evalúa mediante software el adecuado tipo de luminaria a usar, con la finalidad de evitar inconvenientes técnicos.

**Figura 6**

*Consumos individuales por ingreso de LED-telegestión*



En el caso de los porcentajes de aparición, recordemos que representan una probabilidad de aparición, no aseguran de ninguna forma un número exacto de personas o vehículos que pasaran por el área de acción de la lámpara ya que, de cierta forma, es aleatorio, pero siempre dentro de unos límites considerados y obtenidos de los datos históricos de movilidad; los datos de movilidad han sido extraídos de las estadísticas de tráfico de Google Maps, la cual es información de dominio público. (Panchi & Tapia, 2021)

Dado que no se puede predecir la movilidad de forma exacta, pero se tienen datos históricos que nos dan una directriz de posibles escenarios de movilidad máxima y mínima, se han tomado estos límites para determinar los consumos par ambos casos, cualquier caso diferente, es muy probable que sea un caso intermedio a los dos considerados en la gráfica, aun así, existe la posibilidad de que existan escenarios fuera de los límites considerados, aunque dados los datos históricos y el comportamiento de la movilidad, esos casos serán muy raros y durante periodos de tiempo cortos, por ejemplo, un día en que existan eventos en la zona en horario nocturno, donde la movilidad será considerablemente mayor a lo habitual, pero será un evento de un día, tomando en cuenta este hecho, dichos eventos no afectan de una forma considerable nuestra consideración de consumo. (Panchi & Tapia, 2021)

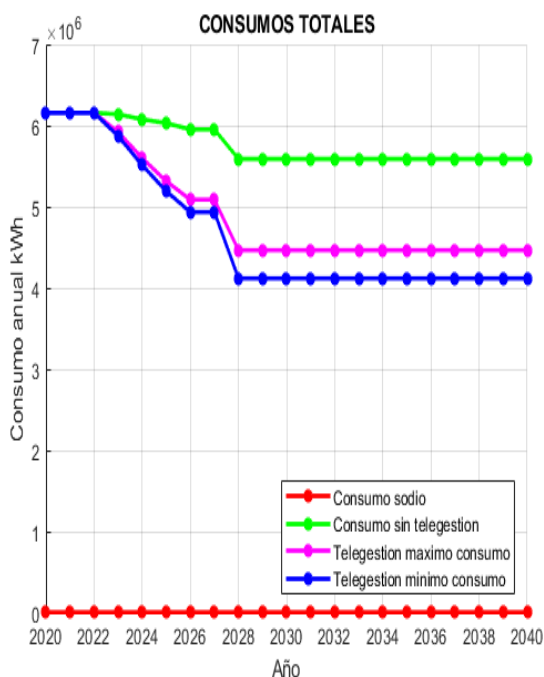
**Tabla 9**

*Resumen de ingreso de proyectos con telegestión en cantones de Cotopaxi.*

Item	Proyectos	Cantón	Año De Implementación	Led	Telegestión	fu
1	Paso Lateral Latacunga	Latacunga	2028	1	1	0.4
2	Panamericana - Belisario Quevedo	Latacunga	2023	1	1	0.42
3	Entrada Sur – Eloy Alfaro-Mayorista	Latacunga	2023	1	1	0.38
4	Av. 5 De Junio Al Intercambiador	Latacunga	2023	1	1	0.38
5	Av. Miguel Iturralde- Gasolinera Bellavista	Latacunga	2025	1	1	0.42
6	Av. Naciones Unidas	Latacunga	2024	1	1	0.38
7	Av. Velasco Ibarra	Pujilí	2025	1	1	0.42
8	Paso Lateral Pujilí	Pujilí	2026	1	1	0.39
9	Centro Histórico-Salcedo-	Salcedo	2024	1	1	0.32
10	Calle Sucre-Parque Central	Salcedo	2026	1	1	0.38
11	Centro Histórico Pujilí-	Pujilí	2024	1	1	0.4
12	Av. Jaime Mata- Yerovi-Tele	Salcedo	2023	1	1	0.4
13	Panamericana-Salida Norte-Tele	Salcedo	2023	1	1	0.408
14	Ingreso Sur Saquisilí	Saquisilí	2024	1	1	0.398
15	Parque Ecológico	Saquisilí	2024	1	1	0.398
16	Centro Historico	Saquisilí	2024	1	1	0.4

**Figura 7**

*Consumos totales por ingreso de LED-telegestión*

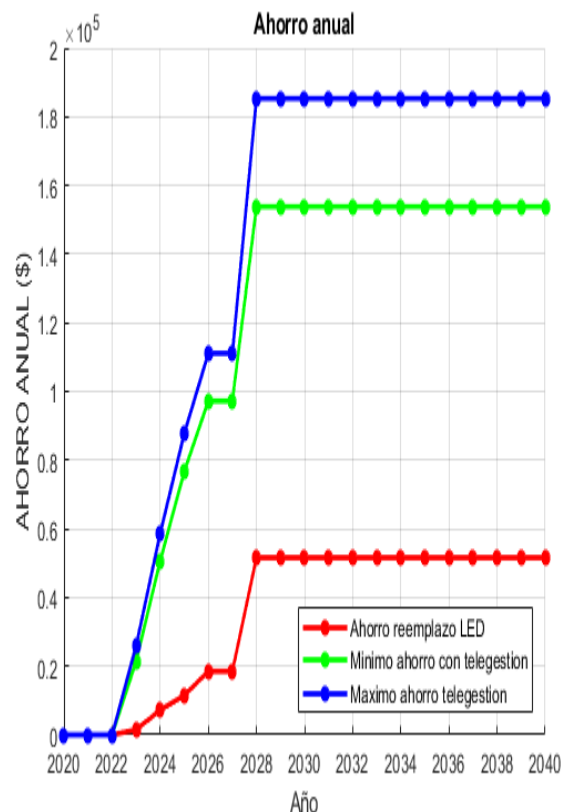


La figura 7 se presenta un consumo total después de la implementación detallada en la tabla 8 para el modelo base, en este caso no se muestra la diferencia de consumo de forma individual para cada tecnología, ahora se analizan los consumos totales, para esto hay que tomar en cuenta, que si bien para cada proyecto individual sustituyendo una tecnología por otra, en este caso sodio por LED, con y sin telegestión se analiza el consumo total y se comparara cual es la repercusión de la sustitución en el consumo total de luminarias. (Panchi & Tapia, 2021)

Como se muestra en la figura 8, al sustituir lámparas por tecnología LED ya representa una reducción considerable del consumo anual del escenario base, y la telegestión incrementa aún más el ahorro; es también importante notar que la diferencia entre el escenario de consumo máximo de telegestión y el mínimo no difieren de una forma considerable, y aun si se opta por considerar el escenario máximo, el ahorro sigue siendo representativo con respecto a la implementación LED sin telegestión y aún más considerable tomando en cuenta el consumo de las lámparas de sodio. (Panchi & Tapia, 2021)

**Figura 8**

*Ahorro anual aplicado al modelo teórico.*



La figura 7 representa un ahorro expresado en dólares considerando las sustituciones detalladas en la tabla 8, en este caso los ahorros anuales se incrementan a medida que se migra a la tecnología LED, y más cuando se considera la telegestión, se debe considerar que los escenarios de máximo y mínimo ahorro siguen sin estar muy distanciados entre sí, por este motivo se puede tomar en cuenta únicamente el mínimo ahorro para todos los análisis financieros. (Panchi & Tapia, 2021)

**Tabla 10**

*Consumos por periodo de análisis.*

Año	Consumo Sodio	Consumo LED	Telegestión Max	Telegestión Min
2025	\$560.193,48	\$548.677,65	\$483.501,58	\$472.443,34
2030	\$560.193,48	\$508.592,46	\$406.371,09	\$374.868,39
2040	\$560.193,48	\$508.592,46	\$406.371,09	\$374.868,39

La tabla 10 muestra un resumen de los consumos mostrados en la figura 6, la totalidad de los proyectos se implementaron en un corto plazo, es por eso por lo que en 2030 ya se ha alcanzado las cotas máximas de ahorro, pero en caso de que se requiera modificar el escenario para una implementación más tardía se lo puede lograr usando el modelo teórico. (Panchi & Tapia, 2021)

**Tabla 11**

*Ahorros calculados por periodo de análisis.*

Año	Ahorro LED	Porcentaje de ahorro	Máximo ahorro telegestión	Porcentaje de ahorro	Mínimo ahorro telegestión	Porcentaje de ahorro
2025	\$11.515,83	2.05%	\$76.691,90	13.69%	\$87.750,14	15.66%
2030	\$51.601,02	9.21%	\$153.822,39	27.46%	\$185.325,09	33.08%
2040	\$51.601,02	9.21%	\$153.822,39	27.46%	\$185.325,09	33.08%

La tabla 11 muestra un resumen de la figura 7, y los resultados son alentadores, al migrar a la tecnología LED, luego de poner en marcha todos los proyectos se alcanza un ahorro anual del 9.21% tal como se muestra en la tabla 11 que presenta una comparación entre el consumo de las lámparas de sodio presentadas en la tabla 8 y el consumo de reemplazarlas por tecnología LED y telegestión, y al aplicar telegestión un ahorro del 27.46% al 33.08%, un 18.25% más que con únicamente migración a tecnología LED.

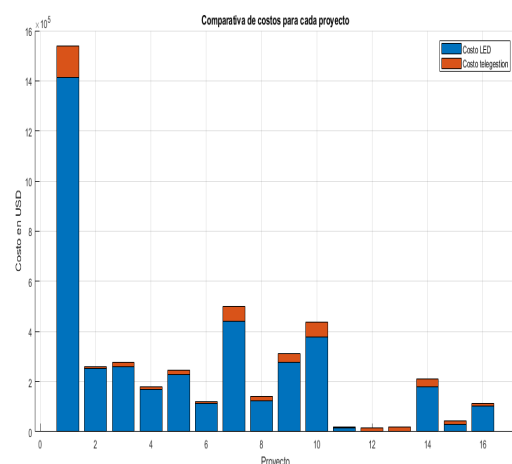
## Análisis económico

El fin de toda implementación es conseguir un beneficio económico, factores como un mejor servicio de iluminación, la seguridad de la ciudadanía en las calles iluminadas por las lámparas que serán implementadas o tener equipos más confiables pasan a segundo plano si en el análisis económico se concluye que algún proyecto no es rentable, y al poner en marcha el modelo teórico planteado en la tesis titulada: Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi, se puede evaluar un escenario a corto, mediano y largo plazo para determinar si un proyecto es rentable, para los proyectos presentados en la figura 8, la figura 9 muestra una comparación entre la migración a tecnología LED y el costo adicional que se debe invertir para tener un sistema con telegestión. (Panchi & Tapia, 2021)

La figura 9 muestra los costos de implementación de cada proyecto, la franja azul es el costo de implementación de luminarias LED consideradas en la tabla 9, y la franja naranja es el costo adicional que se debe considerar para que los proyectos operen con telegestión, existen casos en que las lámparas instaladas ya son LED, por ese motivo solo se considera el costo para implementación de telegestión. (Panchi & Tapia, 2021)

**Figura 9**

*Comparativa de implementación LED y telegestión.*



En la tabla 11 se detalla el posible ahorro al implementar los proyectos de la tabla 10, es evidente que en los proyectos más grandes el ahorro es mucho mayor al momento de considerar una migración a tecnología LED, y mucho mayor si se suma la telegestión, la tabla muestra que implementar telegestión a las luminarias LED es significativo, el modelo teórico calcula un ahorro mínimo y máximo para la configuración de telegestión y dependiendo de la zona en que están ubicadas las lámparas, y si solo se considera un ahorro mínimo, sigue siendo considerable con respecto al consumo que se tiene sin implementar luminarias LED. (Panchi & Tapia, 2021)

**Tabla 12**

*Ahorro por proyecto calculado.*

Nº	Consumo sodio	Consumo LED	Consumo telegestión Max	Consumo telegestión Min	Porcentaje de Ahorro al implementar luminaria LED	Porcentaje de ahorro mínimo con telegestión	Porcentaje de ahorro máximo al implementar telegestión
1	\$272.535,51	\$214.922,31	\$191.423,18	\$173.783,00	10,28%	14,48%	17,63%
2	\$26.117,40	\$23.342,44	\$19.785,88	\$18.097,84	0,50%	1,13%	1,43%
3	\$30.650,19	\$27.393,61	\$19.917,61	\$18.656,72	0,58%	1,92%	2,14%
4	\$20.504,41	\$18.326,71	\$13.812,04	\$12.877,43	0,39%	1,19%	1,36%
5	\$28.167,96	\$25.175,11	\$18.296,04	\$17.111,49	0,53%	1,76%	1,97%
6	\$12.534,25	\$10.680,35	\$8.049,31	\$7.504,64	0,33%	0,80%	0,90%
7	\$56.665,02	\$47.723,98	\$32.864,45	\$31.010,99	1,60%	4,25%	4,58%
8	\$15.540,96	\$13.889,72	\$10.468,07	\$9.759,74	0,29%	0,91%	1,03%
9	\$35.549,48	\$28.384,48	\$20.280,30	\$19.040,71	1,28%	2,73%	2,95%
10	\$52.578,92	\$41.099,18	\$30.974,65	\$28.878,71	2,05%	3,86%	4,23%
11	\$7.047,42	\$5.077,11	\$3.630,82	\$3.416,17	0,35%	0,61%	0,65%
12	\$7.554,62	\$6.751,95	\$5.088,64	\$4.744,32	0,27%	0,44%	0,50%
13	\$8.741,78	\$7.812,97	\$5.069,58	\$4.824,25	0,31%	0,66%	0,70%
14	\$28.500,00	\$24.990,97	\$18.641,63	\$17.403,25	0,63%	1,76%	1,98%
15	\$4.029,60	\$3.156,75	\$1.667,90	\$1.667,90	0,16%	0,42%	0,42%
16	\$11.562,41	\$9.864,86	\$6.400,98	\$6.091,23	0,30%	0,92%	0,98%

En la tabla 11 se demuestra que se puede ahorrar un 9.21% del consumo total al hacer un reemplazo total de luminarias y entre un 27.46% y 33.08% si se implementa telegestión, el cuanto a costos, en la tabla 9 se muestran varios proyectos, los cuales representan un 10% de costo adicional a la inversión de cambio de luminarias por tecnología LED, y para el caso menos favorable, ese 10% de costo adicional implica un ahorro mínimo del 18.25% en consumo con respecto al consumo total actual con los equipos que están instalados, esto implica que según el modelo

teórico desarrollado en la tesis titulada: Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi, la telegestión tiene un gran impacto en los consumos generales (Panchi & Tapia, 2021).

**Discusión**

Ingreso de lámparas LED- Telegestión con análisis de afluencia peatonal y vehicular.

De acuerdo el modelo teórico desarrollado en la tesis titulada: Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi, se cambia la concepción de las alternativas de implementación de telegestión, y tal como se expresa en el modelamiento teórico, en vez de considerar un factor de utilización fijo, se consideran las posibilidades de aparición de personas y vehículos en los horarios nocturnos, obviamente el lugar de análisis es crucial en la extrapolación de movilidad que tendrán los distintos sectores de la provincia, por eso es que en cuanto a la movilidad se han considerado funciones para las distintas zonas de la provincia, las cuales se detallan en la tesis titulada: Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi (Panchi & Tapia, 2021).

La importancia de las funciones de movilidad nocturna en base a la zona de la provincia hace que la telegestión sea focalizada, evitando que las zonas con mayor afluencia tengan niveles de iluminación subestándar y que las zonas con menor concurrencia puedan operar en la noche con el menor consumo posible, tomando el escenario base planteado en la tabla 11. Adicionalmente, Rodriguez (2016) en su estudio también confirmaron que, los consumos individuales de cada tecnología en base al año de implementación evidencian dos consumos al momento de analizar la telegestión, esto se debe a las funciones de movilidad. En este estudio se modelaron los resultados en el software Matlab, pues se consideró, que tipo de zona abarca cada proyecto y también cual es el porcentaje de atenuación máximo para cada lampara, aun así, se consideran dos escenarios, y esto se debe a que las funciones consideran un porcentaje de aparición de vehículos y personas, como lo afirman Panchi & Tapia (2021), al demostrar similitud en las medidas obtenidas.



## Conclusiones

Las lámparas de Sodio de alta presión pierden su eficiencia lumínica y energética en un periodo de 6 años, por lo tanto, es necesario un reemplazo en la provincia de todas aquellas lámparas que hayan superado este periodo de vida útil, de preferencia por lámparas LED, ya que como se demuestra en este trabajo, el consumo se reduce considerablemente y el tiempo de vida útil de estas lámparas es mayor. Los hallazgos de las métricas obtenidas de ahorro fueron mucho mayor al momento de considerar una migración a tecnología LED, además se agregó a la telegestión para generar valor agregado. En este sentido, al reemplazar el consumo por tecnología LED y telegestión, se obtendría un ahorro del 27.46% al 33.08%, un 18.25% más que con únicamente migración a tecnología LED.

Como resultado de tabulación de luminarias instaladas por cantón se estableció diferentes prospectivas con tendencias superior, normal e inferior, de forma independiente, para prever la cantidad de luminarias y potencia instalada en los posibles proyectos de sustitución de luminaria considerados en el proyecto, la ejecución de cada uno de ellos aporta ahorros al consumo pero ninguno es viable económicamente si se lo implementa con tecnología de telegestión ya que el tiempo de recuperación de inversión supera el tiempo de vida útil del proyecto.

Al establecer los planes de ahorro energético con tecnología LED y telegestión, en el periodo de corto plazo se maneja reducción de kW-h año en un 1.11% y 2.76% respectivamente. Para los periodos de mediano plazo se maneja porcentajes de reducción de 0.92% y 2.32% respectiva y finalmente para el periodo a largo plazo una vez cumplido el ingreso de proyectos de telegestión se maneja ahorros de 0.66% y 1.67 respectivamente.

## Referencias Bibliográficas

Abdullah, A., Yusoff, S. H., Zaini, S. A., Midi, N. S., & Mohamad, S. Y. (2019). Energy efficient smart streetlight for smart city using sensors and controller. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 8(2), 558-568.

Acuña, H., & Konow, I. (1990). *Métodos y Técnicas de investigación prospectiva para la toma de decisiones*. Chile:

## FUNTURO.

ARCONEL. (2018). Regulación Nro. 054/2018. Quito.

CALIDAD, M. D. (2012). Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “alumbrado público”. Quito.

Dheena, P., Raj, G., Dutt, S. & Jinny V. (2017). IOT based smart street light management system. *IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS)*. 368-371, <http://10.1109/ICCS1.2017.8326023>.

CONELEC. (2018). Regulación-No.-CONELEC-005\_14-Prestación-APG. QUITO: CONELEC.

CRE (2008). *Constitución De La República Del Ecuador*. Quito.

Eriyadi, M., Abdullah, A. G., Hasbullah, H., & Mulia, S. B. (2021). Internet of things and fuzzy logic for smart street lighting prototypes. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 10(3), 528-538. [10.11591/ijai.v10.i3.pp528-538](https://doi.org/10.11591/ijai.v10.i3.pp528-538)

Electricidad, C. N. (2016). *Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental*. Quito: CONELEC.

Esparza Catalán, C. (2018). *Series Temporales*. CSIC.

Flores Lora, R. O. (2018). Ahorro Energético en alumbrado público con el desarrollo de un prototipo de sistema de telegestión remoto para lamparas tipo Led de la Empresa Eléctrica MELNORTE S.A. Quito: EPN.

Gonzales Loaiza, P. D. (2014). “Telegestión del alumbrado público con tecnología LED”. Loja-Ecuador: Universidad Nacional de Loja.

Miklos, T. (2015). *Planeación prospectiva y estratégica*. Mexico: Reduaz.

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>

Ocerin, J. C. (2012). *Econometría: Modelos econométricos y series temporales*. Barcelona : REVERTÉ S.A.

- Panchi, A., & Tapia, G. (23 de Septiembre de 2021). Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi. Recuperado el 24 de Febrero de 2023, de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8015>
- Peréz, C. (2006). *Econometria de las Series Temporales*. PRENTICE-HALL.
- Popa, M., & Marcu, A. (2021). A solution for street lighting in smart cities. *Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering*, 5, 91-104.
- Popa, M., & Cepișcă, C. (2022). Energy consumption saving solutions based on intelligent street lighting control system. *UPB Sci. Bull., Series C*, 73(4), 297-308.
- Renovables, M. d. (2019). Plan Maestro de Electricidad. II, 100.
- 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.
- 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.
- Sumathi, V., Sandeep, A. K., & Kumar, B. T. (2013). Arm based street lighting system with fault detection. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(5), 4141-4144.
- Tama Franco, A. (2012). *La revolución del alumbrado público*. Quito: ESPOL.