



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magister en Electricidad
mención sistemas eléctricos de potencia

Autor:

Panchi Guamangallo Alex Danilo
Tapia Estrella Galo Marcelo

Tutor:

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado Msc.

LATACUNGA –ECUADOR

2021

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “**Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi**” presentado por Alex Danilo Panchi Guamangallo y Galo Marcelo Tapia Estrella para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, septiembre, 14, 2021



.....
Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado Msc.
CC.: 0502656424

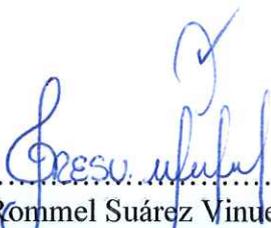
AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magister en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

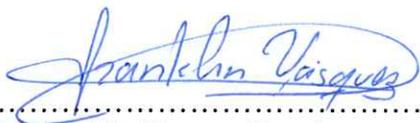
Latacunga, octubre, 22, 2021



.....
MSc. Diego Jiménez Jiménez
0503493702
Presidente del tribunal



.....
MSc. Rommel Suárez Vinuesa
1804165353
Lector 2



.....
MSc. Franklin Vasquez Teneda
1710434497
Lector 3

DEDICATORIA

A mi madre Olga Guamangallo, a mi padre Manuel Panchi como también a mis hermanos Byron, Cristian y Freddy que con su ayuda y conocimiento compartidos me han permitido concluir este nuevo proyecto siempre motivándome, brindándome su ayuda, además a Gabrielita que se ha convertido en mi fortaleza para afrontar nuevos proyectos, también a todos mis amigos que día a día brindaron su apoyo fortaleciendo los conocimientos y sobre todo la amistad.

Danilo

Esto se lo dedico a mi familia, en especial a mi madre que siempre me ha brindado su apoyo incondicional, su ayuda en momentos difíciles, sus consejos en etapas de incertidumbre y su amor en todo momento; a mi hermano que ha estado presente las buenas y en las malas; a mis primos que han sido parte fundamental en mi formación gracias a sus consejos, experiencia y su amistad desinteresada.

Galo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermanos y familia en general que brindaron su ayuda en todo momento, sin su ayuda esta meta no se pudo haber concluido, además todas las personas que fortalecieron lazos de amistad, a los ingenieros que brindaron sus conocimientos para formar a buenos profesionales

Danilo

Agradezco en primer lugar a Dios quien nos ha permitido compartir estos últimos años con grandes amigos y profesionales, por las bendiciones y sabiduría para culminar nuestra carrera universitaria y por los gratos momentos compartidos a lo largo de esta experiencia en la Universidad Técnica de Cotopaxi

Galo

RESPONSABILIDAD DE AUDITORIA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, octubre, 22, 2021



.....
Alex Danilo Panchi Guamangallo
0503238842

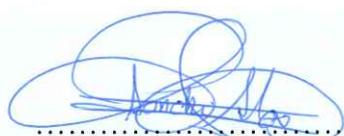


.....
Galo Marcelo Tapia Estrella
0503249153

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, octubre, 22, 2021



.....
Alex Danilo Panchi Guamangallo
0503238842



.....
Galo Marcelo Tapia Estrella
0503249153

AVAL DE PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi** contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, octubre, 22, 2021



.....
MSc. Diego Jiménez Jiménez
0503493702
Presidente del tribunal

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCION SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Título: “Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi”

Autor: Ing. Panchi Guamangallo Alex Danilo
Ing. Tapia Estrella Galo Marcelo

Tutor: Ing. Xavier Proaño Maldonado, Mg.

RESUMEN

El presente estudio reúne información para evaluar la infraestructura de alumbrado público general (APG) de la empresa eléctrica Provincial Cotopaxi- ELEPCO S.A., para establecer planes de mejoramiento y migrar de la tecnología de sodio de alta presión a LED, también la sustitución total de lámparas de mercurio. En la última década, cada distribuidora de energía ha manejado un registro de los activos relacionados al área de distribución mediante el Software ArcGIS, es así como se ha construido una base actualizada desde el año 2012 a 2021, permitiendo analizar la cantidad de luminarias, tipos y potencia instalada en cada rincón de la provincia de Cotopaxi, información que fue procesada por Cantón y año de instalación con la finalidad de estimar el consumo energético se realiza previsiones usando el modelo de estimación de Holt -Winters a corto, mediano y largo plazo, con errores menor al 4%. Al establecer los escenarios base, se analizan posibles casos de consumo, posibilidades de mejoramiento en la infraestructura del APG en áreas rurales y una migración a lámparas LED en áreas urbanas como: vías principales, parques, zonas residenciales, accesos secundarios y centros históricos de diferentes localidades; las propuestas de mejoramiento se plantea como proyectos individuales que son evaluados para determinar su viabilidad técnica, económica y financiera, y mediante el uso de una herramienta de cálculo se estiman los posibles consumos diarios en función a la afluencia peatonal y/o vehicular, además, se prevé ahorros energéticos a corto, mediano y largo plazo de 2.76%, 2.32% y 1.67% respectivamente, indicando la factibilidad de la telegestión en la matriz energética del alumbrado publico de Cotopaxi.

PALABRAS CLAVE: Alumbrado público general (APG), Telegestión, Lámpara Led

**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
DIRECCION DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD MENCIÓN
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Title: "Prospective analysis of remote management in public lighting and its impact on energy consumption in the Province of Cotopaxi"

Authors:

Ing. Alex Danilo Panchi Guamangallo

Ing. Galo Marcelo Tapia Estrella

Tutor:

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado, Mg

ABSTRACT

This study gathers information to evaluate the general public lighting infrastructure (APG) of ELEPCO SA, to establish APG improvement plans and migrate from high pressure sodium technology to LED, as well as total replacement of mercury lamps. In the last decade, each energy distribution company has managed a registry of assets related to the distribution area through ArcGIS Software, this is how an updated base has been built from 2012 to 2021, allowing to analyze the number of luminaires, types of lamps and install LED power in each corner of the province of Cotopaxi, information that was processed by town and year of installation in order to estimate energy consumption using the Holt -Winters model in the short, medium and long term. When establishing the base scenarios, possible cases of consumption are analyzed, possibilities of improvement of PA with replacement of mercury lamps by high pressure sodium in rural areas and a migration to LED lamps in urban areas such as: main roads, parks, residential areas, secondary accesses and historical centers of different localities; The improvement proposals are presented as individual projects that are evaluated to determine their technical, economic and financial viability, this is achieved using LED lamps and remote management implementation and through the use of a mathematical model the possible daily consumption is estimated based on the pedestrian and / or vehicular influx in the different areas that make up the province, finally, the impact of the savings of each project on the consumption of the energy matrix in the short, medium and long term is analyzed, taking into account the results obtained from the Holt -Winters model, finally, energy savings are expected in the short, medium and long term of 2.76%, 2.32% and 1.67% respectively, indicating the feasibility of remote management in the energy matrix of public lighting in Cotopaxi.

KEYWORDS: Public Lighting, Remote Management, Led Lamp

Yo, Marco Paúl Beltrán Semblantes con cédula de identidad número: 0502666514 Licenciado/a en Ciencias de la Educación especialización Ingles con número de registro de la SENESCYT: 1020-06-701921 **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi" de: Panchi Guamangallo Alex Danilo y Tapia Estrella Galo Marcelo, aspirantes a magister en Electricidad mención en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
0502666514



**CENTRO
DE IDIOMAS**

Latacunga, 21/ 10 / 2021

INDICE DE CONTENIDOS

AVAL DEL TUTOR	ii
AVAL DEL TRIBUNAL	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESPONSABILIDAD DE AUDITORIA	vi
RENUNCIA DE DERECHOS	vii
AVAL DE PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema:	2
Formulación del problema:	2
Objetivos	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos:	3
Justificación	4
Hipótesis:	4
CAPÍTULO I.	5
1.1. Antecedentes de la investigación	5
1.2. Fundamentación teórica	6
1.2.1 Modelo de estimación de series temporales Holt Winters	6
1.3. PIB Ecuador	8
1.4. Usuarios y consumo de energía	9
1.5. Evolución histórica y proyección del alumbrado publico	10
1.5.1. Infraestructura de alumbrado público	10
1.5.2. Alumbrado público en la Provincia de Cotopaxi	11
1.6. Luminarias con tecnología LED	13
1.7. Esquema de mantenimiento de instalaciones de alumbrado Publico	14
1.8. Telegestión	15
1.8.1. Niveles de un sistema de telegestión.	17
1.9. Cálculo de energía de alumbrado publico	18
1.10. Factor de utilización (Fu) para telegestión	19
1.11. Parámetros fotométricos para iluminación vial	20

1.11.1. Vías para tráfico motorizado.....	21
1.11.2. Los parámetros fotométricos para vías con tráfico motorizado	21
Fuente: Resolución Nro. ARCONEL-054/18	22
1.11.3. Vías para tráfico peatonal.....	22
1.11.4. Parámetros fotométricos para tráfico peatonal	22
1.12. Trafico reportado en la noche para lugares de interés	23
1.13. Prospectiva.....	24
1.14. Fundamentación metodológica	25
1.15. Conclusiones Capítulo I	27
PROPUESTA	28
2. Título del proyecto.....	28
2.1. Objetivo del proyecto.....	28
Analizar la incidencia de la telegestión en el alumbrado público de la provincia de Cotopaxi al calcular los ahorros de 16 proyectos de migración a tecnología LED y determinar su repercusión en la matriz energética a corto, mediano y largo plazo al estimar el consumo futuro de dicha matriz usando el método de Holt – Winters para determinar si es viable adoptar la telegestión en la provincia de Cotopaxi.	28
Justificación de la propuesta.....	28
2.2. Fundamentación de la propuesta	28
2.3. Procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados	29
2.4. Rangos y periodos de estudio	29
2.5. Escenario base	30
2.5.1. Escenario No. 1 Plan de Mejoramiento de alumbrado publico	30
2.5.2. Prospectiva del alumbrado público-modelo de Holt Winters	33
2.6. Escenario No. 2 Plan de sustitución de luminarias Sodio a LED.	34
2.7. Modelo econométrico.....	36
2.7.1. Creación de la herramienta de calculo	36
2.7.2. Ecuaciones del consumo diario de una lámpara LED con telegestión.....	39
2.9. Conclusiones	52
APLICACIÓN Y/O VALIDACION DE LA PROPUESTA	53
3.1 Análisis de resultados.	53
3.1.3 Escenario prospectivo de alumbrado público en la Provincia de Cotopaxi	55
3.1.4 Escenario No.1 Sustitución de lámparas de mercurio	57
3.1.5 Escenario No. 2 Ingreso de lámparas LED	59
3.1.6 Escenario No. 3 Ingreso de lámparas LED- Telegestión-FU.....	60

3.1.7 Escenario No. 4 Ingreso de lámparas LED- Telegestión con análisis de afluencia peatonal y vehicular.....	63
3.2 Análisis económico	68
3.2.1 Valoración económica financiera.....	70
3.3 Evaluación de expertos	71
3.4 Evaluación de Impactos.....	72
3.4.1 Balance energético plan 2 y 3.	72
3.4.2 Balance energético plan 1,2 y 3.	73
CONCLUSIONES GENERALES	75
RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	77
ANEXOS	79

Índice de tablas

Tabla 1 Tasa de crecimiento del PIB	8
Tabla 2 Infraestructura de alumbrado público.	10
Tabla 3 Luminarias instaladas por Cantón	12
Tabla 4 Potencia en auxiliares de luminarias.	19
Tabla 5 Clases de alumbrado para públicas.	21
Tabla 6 Parámetros fotométricos para vías	22
Tabla 7 Clases de iluminación	22
Tabla 8 Requisitos mínimos de iluminación.	23
Tabla 9 Porcentaje de aparición de autos y peatones	24
Tabla 10 Porcentaje de luminarias instaladas	30
Tabla 11 Lámparas de mercurio para sustitución	32
Tabla 12 Previsión de Lámparas Sodio y LED de varios Cantones.	33
Tabla 13 Lámparas existentes en el paso lateral	35
Tabla 14 Descripción de las variables y constantes usadas	40
Tabla 15 Prospectiva de lámparas de mercurio	54
Tabla 16 Prospectiva de lámparas LED	54
Tabla 17 Prospectiva de lámparas de Sodio	54
Tabla 18 Previsión de luminarias por cantón	55
Tabla 19 Parámetros de previsión	57
Tabla 20 Ahorro anual por reemplazo de lámparas de mercurio	58
Tabla 21 Proyectos con telegestión en cantones de Cotopaxi.	59
Tabla 22 Potencia instalada Sodio vs LED	59
Tabla 23 Ahorro unitario diario de lámpara LED.	60
Tabla 24 Proyectos planteados para Cotopaxi.	62
Tabla 25 Consumos por periodo de análisis	67
Tabla 26 Ahorros calculados por periodo de análisis	68
Tabla 27 Ahorro por proyecto calculado	69
Tabla 28 Resumen económico financiero	70
Tabla 29 Balance energético de LED-Telegestión en Cotopaxi	72
Tabla 30 Balance energético de Mejoramiento AP-Telegestión en Cotopaxi	73
Tabla 31 Infraestructura de alumbrado público Cantón Pangua.	80
Tabla 32 Infraestructura de alumbrado público Cantón La Mana	80
Tabla 33 Infraestructura de alumbrado público Cantón Pujilí	80
Tabla 34 Infraestructura de alumbrado público Cantón Salcedo	80
Tabla 35 Infraestructura de alumbrado público Cantón Saquisilí	81
Tabla 36 Infraestructura de alumbrado público Cantón Sigchos	81
Tabla 37 Infraestructura de alumbrado público Cantón La Mana	81

Índice de Figuras

Fig. 1 Diagrama de flujo de modelo Holt Winters	6
Fig. 2 Tasa de variación anual del consumo de energía y PIB	9
Fig. 3 Usuarios por grupo de consumo 2008-2018	9
Fig. 4 Proyección del consumo del sector Alumbrado Público	10
Fig. 5 Distribución geográfica de luminarias instaladas en la Provincia Cotopaxi	11
Fig. 6 Porcentaje de luminarias por cantón de la Provincia de Cotopaxi.	12
Fig. 7 Fuentes luminosas artificiales para alumbrado público.	13
Fig. 8 Esquema de mantenimiento de instalaciones de alumbrado público.	15
Fig. 9 Esquema de telegestión para distribuidoras	16
Fig. 10 Cuadro esquemático de conexión de luminarias y base de datos	18
Fig. 11 Regulación de intervalos de tiempo y niveles de Luz	19
Fig. 12 Trafico en la ciudad de Latacunga	23
Fig. 13 Previsión de lámparas de mercurio	31
Fig. 14 Regulación de intervalos de tiempo y niveles de Luz	32
Fig. 15 Vía Av. 5 de junio con configuración Unilateral en calzada diferenciales	34
Fig. 16 Resultados fotométricos de lámpara 200W- Marca LEDEX.....	35
Fig. 17 Sistema de detección de peatones y vehículos [12].....	41
Fig. 18 Aparición de personas vs. hora nocturna de referencia-zona urbana	44
Fig. 19 Porcentaje de aparición de personas vs. hora nocturna de referencia - zona rural	44
Fig. 20 Diagrama de flujo del programa implementado en Matlab	45
Fig. 21 Interfaz inicial del programa	46
Fig. 22 Opciones de cálculo disponibles según el tipo de proyecto	47
Fig. 23 Opciones de cálculo disponibles según el tipo de lámpara	47
Fig. 24 Inserción interactiva de los datos.....	48
Fig. 25 Resultados generados al aplicar el caso 1.....	49
Fig. 26 Resultados generados al aplicar el caso 2.....	50
Fig. 27 Resultados generados al aplicar el caso 3.....	50
Fig. 28 Prospectiva de Alumbrado Público en Provincia de Cotopaxi	56
Fig. 29 Comparativa de puntos de iluminación vs puntos de carga.....	56
Fig. 30 Ahorro energético por Cantones.....	57
Fig. 31 Factor de Utilización -Telegestión	61
Fig. 32 Comparativa de Consumos entre luminaria Sodio, LED y Telegestión.....	63
Fig. 33 Ahorro energético por implementación LED -Telegestión	63
Fig. 34 Consumos individuales por ingreso de LED-telegestión	64
Fig. 35 Consumos totales por ingreso de LED-telegestión	65
Fig. 36 Ahorro anual aplicado al modelo teórico	67
Fig. 37 Comparativa de implementación LED y telegestión	69
Fig. 38 Prospectiva de alumbrado público con telegestión en el periodo 2021-2040.	73

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se enfoca en la eficiencia energética del sector de Alumbrado Público General (APG), proponiendo el uso óptimo de equipos para reducir el consumo de energía eléctrica mediante la implementación de tecnologías limpias. La telegestión en AP se ha implementado a lo largo de esta década, obteniendo buenos resultados, especialmente ahorros energéticos; en el Plan Maestro de Electricidad se establece que el APG tiene una participación de 7% del consumo nacional de electricidad y en la proyección 2019-2027 se prevé un crecimiento anual promedio de 4.4%, alcanzando 1.927 GWh para el 2027[1] [1].

La incidencia de la tecnología LED con telegestión se pone a prueba evaluando 16 proyectos en la matriz energética, tomándolos como casos de estudio en la provincia de Cotopaxi; para mostrar dicha incidencia, se propone una serie de ecuaciones en función de la movilidad para el cálculo del consumo diario de una lámpara LED con telegestión en base a los datos extraídos de Google Maps, en donde se concentra información de movilidad a nivel mundial y es de uso público.

Una vez determinados los consumos diarios de las lámparas LED con telegestión, se comparan con los consumos actuales de lámparas instaladas y se estiman los ahorros anuales que se generan cuando se migra de tecnología, estos ahorros se traducen en beneficio económico con lo cual se calcula la viabilidad económica – financiera de cada proyecto planteado, cada uno de los proyectos en la provincia de Cotopaxi se analiza individualmente para determinar su viabilidad.

La forma en que se calcula la incidencia de la telegestión en la provincia de Cotopaxi es analizando los ahorros energéticos que se generan al migrar a esta tecnología, y para mostrar la repercusión de estos ahorros se proyecta el consumo de la matriz energética usando el modelo de estimación de Holt – Winters, a través de este modelo se prevé los consumos futuros en instalaciones eléctricas sujetas a crecimiento, comparamos los datos obtenidos de cada uno de los 16 proyectos para determinar la incidencia de la migración a la tecnología LED con telegestión a corto, mediano y largo plazo.

Planteamiento del problema:

En la Republica del Ecuador mediante la regulación No. CONELEC 005/14 se establece que las empresas distribuidoras manejan el Servicio de Alumbrado Público General SAPG, donde comprende la inversión, administración, operación y mantenimiento del sistema de APG. El mismo que se clasifica en: alumbrado público general, alumbrado público ornamental y alumbrado público intervenido. [2]

Las distribuidoras, Municipios son responsables de la prestación del servicio de alumbrado, entre sus obligaciones esta expandir el sistema de alumbrado público general a fin de cubrir la demanda del servicio de conformidad con los planes de expansión e instalar equipos que cumplan con criterios de eficiencia energética y las normas de preservación del medio ambiente.

Las empresas distribuidoras manejan una gran proyección en alumbrado público, manejando un crecimiento en sector urbano y rural, para el mejoramiento en sector urbano se presenta iniciativas como el reemplazo de luminaria de sodio de alta potencia por lámparas LED, como se resultado del cambio de este tipo de tecnología se puede optar por métodos de control con la finalidad de reducir su consumo y ser óptimos , actualmente la facturación de energía eléctrica de alumbrado público representa el 7.42% equivalente a 138.19 MUSD [1]. La iniciativa de la telegestión es gestionar de manera óptima los recurso con tecnología LED y evitar consumos excesivos en horas de baja o nula afluencia peatonal o vehicular, es así como se busca establecer una prospectiva eficiente para el ingreso de esta tecnología como también establecer planes de expansión segura y confiable generando un ahorro energético en este sector.

Formulación del problema:

Según datos históricos anuales de luminaria publica instalada en los últimos 10 años, se presenta un crecimiento en el consumo por APG, esto plantea la necesidad de buscar alternativas para una mejor gestión de la energía eléctrica; el uso de la telegestión reduce el consumo energético al regular de forma automática la luminosidad de cada lampara, el presente estudio se enfoca en determinar en qué zonas de la provincia es viable el uso de esta tecnología tomando en cuenta la movilidad humana en varios puntos estratégicos de Cotopaxi al evaluar el ahorro de una supuesta implementación de proyectos de telegestión.

Objetivos

Objetivo General

- Analizar la incidencia de la telegestión en el alumbrado público mediante una herramienta de cálculo para identificar ahorros por migración a tecnología LED-telegestión estimando el consumo futuro con el método de Holt – Winters para determinar el impacto en la matriz energética del APG a corto, mediano y largo plazo en la provincia de Cotopaxi.

Objetivos Específicos:

- Identificar el consumo energético del alumbrado público general (APG) en la Provincia de Cotopaxi en 2021.
- Plantear una herramienta de cálculo para determinar el consumo diario de una lámpara LED con telegestión y comparar consumos con el método convencional de atenuación lumínica programada.
- Predecir el consumo de la matriz energética del APG usando el modelo de estimación de Holt – Winters para evaluar la incidencia energética y económica de la migración a Tecnología LED-Telegestión corto, mediano y largo plazo.
- Definir el análisis financiero de los proyectos propuestos para la migración a Tecnología LED.

Sistemas de tareas en relación con los objetivos específicos

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
1	Análisis de la matriz energética APG en la Provincia de Cotopaxi. Consumo energético del 2021 en el sector de alumbrado público	Búsqueda de información relacionada a la matriz energética en la Provincia de Cotopaxi. Determinar el consumo energético del sector de Alumbrado Público	Fuentes bibliográfica, revistas indexadas, publicaciones, bibliotecas virtuales Descarga de base de datos, de luminarias instaladas del software ArcGIS, proporcionado por ELEPCO SA
2	Plantear ecuaciones para determinar el consumo diario de las lámparas LED	Determinar las variables de las que depende el consumo diario de una lámpara LED con tecnología de telegestión. Determinar las ecuaciones que representan el consumo diario de una lámpara LED con telegestión en base a la movilidad y atenuación de luminosidad.	Determinar los consumos de los proyectos planteados usando la herramienta de cálculo como también utilizando factor de utilización. Interpolar los datos de movilidad para las diferentes zonas de la provincia de Cotopaxi usando la base de datos de Google Maps. Comparar los resultados de consumo diario con los métodos

			convencionales usados para programar la intensidad lumínica de una lámpara LED.
3	Predecir el consumo de la matriz energética del alumbrado público en la provincia de Cotopaxi usando el modelo de estimación de series temporales Holt -Winters.	Proyectar el consumo de la matriz energética de la provincia de Cotopaxi para determinar la incidencia del ahorro de los proyectos planteados a corto, mediano y largo plazo.	Aplicar el modelo de estimación Holt -Winters en la base de datos de la matriz energética de luminarias para estimar su consumo futuro. Analizar el ahorro de los proyectos planteados e identificar el impacto en la matriz energética a corto, mediano y largo plazo.
4	Valoración económica los proyectos planteados	Determinar la viabilidad técnica, económica y financiera de los proyectos planteados.	Calcular los ahorros generados por los proyectos durante su vida útil. Cálculo de TIR y VAN de proyectos planteados.

Justificación

Los proyectos con tecnología LED y telegestión en alumbrado público en la provincia de Cotopaxi para el año 2021 son muy pocos y es necesario considerar esta alternativa dado el crecimiento continuo de la matriz energética. Las tecnologías de lámparas a base de mercurio de alta presión que aún están funcionando son nocivas y se requiere que sean sustituidas progresivamente lo antes posible debido al perjuicio ambiental que representan sus materiales de fabricación, es por eso por lo que el presente estudio demuestra el beneficio de migrar e implementar proyectos a base de lámparas LED con telegestión en comparación a otras alternativas como lámparas de sodio de alta presión. Socialmente los usuarios ante proyectos de tecnología LED, presentan mayor satisfacción y confort visual, y la contaminación medio ambiental son mínimas y en general brindan un ahorro energético y económico, reducción de costes de mantenimiento e incremento de seguridad. Económicamente se presenta la viabilidad del cambio a tecnología LED con telegestión además incide positivamente para reducir el consumo energético en el alumbrado público entre un 2-3% de la matriz energética actual.

Hipótesis:

La migración a la tecnología LED con telegestión en puntos estratégicos de la Provincia de Cotopaxi, los cuales están agrupados en 16 proyectos, tendrá una incidencia positiva en el consumo, generando un ahorro energético de al menos un 2% del total consumido por el alumbrado público general (APG).

CAPÍTULO I.

Fundamentación teórica- metodológica

1.1. Antecedentes de la investigación

En la constitución del Ecuador apoya el uso de tecnologías ambientales limpias, no contaminantes y de bajo impacto ambiental. Art. 413 El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas. [3] [3].

En el Ecuador existen varios estudios relacionados a telegestión, tales como “Telegestión del alumbrado público con tecnología LED para la Avenida Pio Jaramillo Alvarado de la Ciudad de Loja.”, donde expresa que el reemplazado de luminarias LED por lámparas de sodio, y con un sistema de telegestión se reduce un consumo de energía hasta en un 67.08%. [4] [4].

En diciembre del 2012, existe una publicación con el tema “La Revolución del Alumbrado Público”, menciona las diversas tecnologías para un control eficiente del alumbrado público, dando introducciones a ciudades inteligentes, a la eficiencia y ahorro energéticos. [5].

En mayo del 2018, se realizó un estudio de telegestión, “Ahorro energético en alumbrado Público con el desarrollo de un prototipo de sistema de telegestión remoto para lámparas tipo LED de la empresa eléctrica EMELNORTE S.A”, donde realiza un estudio sobre la iluminación LED, niveles de iluminación en vías, alumbrado exterior, como también el desarrollo de un prototipo de telegestión alcanzando un ahorro entre el 30.53-34.97%. [6]. [6]

También en otros países existe variedad de proyectos relacionados a telegestión, ente los cuales uno de los más cercanos está en Colombia con el tema “Telegestión del servicio de alumbrado público inteligente para el parque metropolitano el tunal ubicado en la ciudad de Bogotá” , de igual manera concluyen que es recomendable implementar este sistema con luminarias LED, obteniendo respuestas a menor tiempo en identificación de

falla en lámparas, reducción en actividades de mantenimiento y reducción de costos de funcionamiento. [7].

La eficiencia energética supone importantes ahorros en la factura de la luz. Una de las medidas que más ahorros genera es la sustitución de las lámparas existentes por luces LED, que es actualmente la tecnología más empleada en iluminación.

1.2. Fundamentación teórica

1.2.1 Modelo de estimación de series temporales 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, el presente método es usado, debido que, en el Plan Maestro de Electricidad, realizan cálculos de previsión utilizando el presente método., A continuación, se presenta un diagrama de flujo, para identificar el procedimiento a seguir.

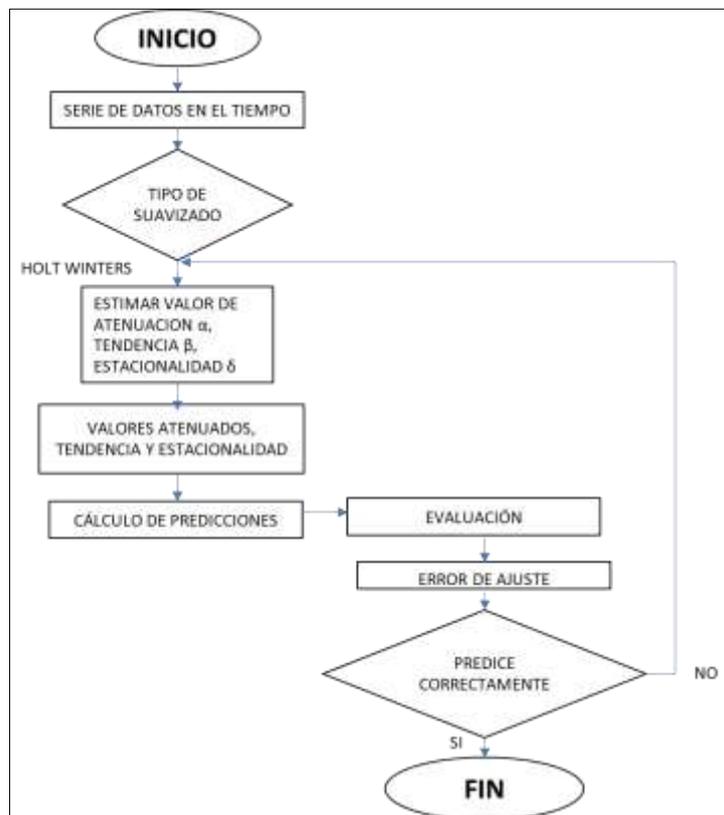


Fig. 1 Diagrama de flujo de modelo Holt Winters

Fuente: Realizado por los postulantes

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 [8].

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, y se muestra en las siguientes ecuaciones. [9]

Serie suavizada exponencialmente o nivel estimado

$$A_t = \alpha \frac{x_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$$

Estimación de la tendencia

$$T_t = \gamma(A_t - A_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$$

Estimación de la estacionalidad

$$S_t = \delta \frac{x_t}{A_t} + (1 - \delta)S_{t-s}$$

Predicción de m periodos en el futuro

$$X_{t+m} = (A_t + mT_t)S_{t+m-s}$$

Ec. 1 Modelo de Holt - Winters

Donde:

A_t : valor de suavización para el nivel de serie en el periodo t.

α : constante de suavización exponencial para el nivel, valores 0-1.

x_t : valor real de la serie en el periodo t.

T_t : componente de tendencia de la serie para el periodo t.

γ : constante de suavización exponencial para la tendencia, valores 0-1.

S_t : componente estacional de la serie para el periodo t

S_{t+s} : componente estacional de la serie calculado para el periodo t-s

δ : constante de suavización exponencial para la estacional, valores 0-1.

S: longitud de tiempo de la estacionalidad

m: periodos futuros a predecir

X_{t+m} : predicción de Holt-Winters para el periodo t+m

LS=Pronostico+ $\sqrt{k} * SE * Z$, LI=Pronostico- $\sqrt{k} * SE * Z$, Probabilidad=1-(1-NC)/2,

$$Z=f(\text{Prob}), SE=\sqrt{\sum \frac{EA^2}{n-1}}$$

Mediante el uso del modelo se realiza la prospectiva a corto, mediano y largo plazo, con alta precisión permitiendo establecer la previsión del consumo de electricidad, mediante el uso de serie de datos históricos comprendidos entre los años 2012-2020, permitiendo planear y toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo, método usado para previsiones del Plan Maestro de Electrificación CELEC.

1.3.PIB Ecuador

El Producto Interno Bruto Nacional en periodo entre 2008-2018, ha presentado un crecimiento de 3,4%, datos publicados en el Boletín No.106-2000.I-2018-IV “Cuentas Nacionales Trimestrales del Ecuador” de marzo de 2019, en la Tabla 2 se muestra la tasa de crecimiento del PIB 2008-2018 [1], en el presente estudio se presenta tasas de crecimiento hasta el año 2018.[1]

Tabla 1 Tasa de crecimiento del PIB

Año	%	Año	%
2008	6.4	2014	3.8
2009	0.6	2015	0.1
2010	3.5	2016	-1.2
2011	7.9	2017	2.4
2012	5.6	2018	1.4
2013	4.9		

Fuente: Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables

Además, en la Fig. 2 se considera una comparación entre el consumo de energía eléctrica con la variación del PIB, donde el crecimiento del sector residencial, comercial, industrial y alumbrado público se han incrementado, siendo superior al de la economía.

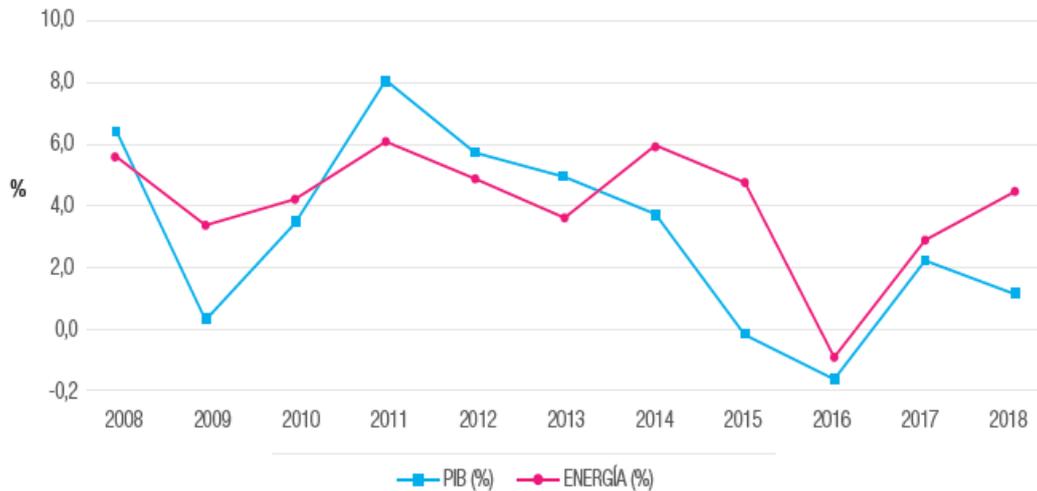


Fig. 2 Tasa de variación anual del consumo de energía y PIB
Fuente: Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables

1.4. Usuarios y consumo de energía

Debido al crecimiento de la población, la expansión demográfica, el incremento de viviendas con servicio eléctrico, la creación de nuevos accesos viales y la dotación de alumbrado público, ocasiona un incremento en la demanda eléctrica. A continuación, se presentan series históricas de cantidad de usuarios y energía facturada a nivel nacional.



Fig. 3 Usuarios por grupo de consumo 2008-2018
Fuente: Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables

En la Fig. 3 se observa la facturación por grupo de consumo, donde alumbrado público tiene un crecimiento promedio anual de 4,97%. [1] [10]

1.5. Evolución histórica y proyección del alumbrado publico

Para identificar el comportamiento del alumbrado público, se ha utilizado por el modelo eco métrico basado en el comportamiento histórico, determinando un crecimiento anual promedio de 4.4%, alcanzando 1.927 GWh en el año 2027 [1]. [10]



Fig. 4 Proyección del consumo del sector Alumbrado Público
Fuente: Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables

1.5.1. Infraestructura de alumbrado público

Tabla 2 Infraestructura de alumbrado público.

EMPRESA	DENOMINACIÓN	Nro. LUMINARIAS	POTENCIA MW
CNEL EP	U.N. Bolivar	18.745	3
	U.N. EL Oro	84.716	15
	U.N. Esmeraldas	46.474	8
	U.N. Guayaquil	171.968	28
	U.N. Guayas Los Ríos	88.274	16
	U.N. Los Ríos	30.42	5
	U.N. Manabí	119.745	25
	U.N. Milagro	43.889	8
	U.N. Sta Elena	41.206	7
	U.N. Sto Domingo	69.617	11
	U.N. Sucumbíos	38.079	5
	CNEL EP	753.133	131
	E.E. Ambato	109.467	15
	E.E. Azogues	15.647	2
EMPRESAS ELÉCTRICAS	E.E. Centro Sur	134.494	24
	E.E. Cotopaxi	47.320	7
	E.E. Galapagos	3.542	0
	E.E. Norte	88.791	12
	E.E. Quito	275.643	44
	E.E. Riobamba	55.898	7
	E.E. Sur	64.983	8

Fuente: Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables

A nivel Nacional la infraestructura del servicio de alumbrado público general registró 1.548.918 luminarias, con una potencia instalada de 250 MW, en la tabla 2 se observa el detalle por empresa distribuidora.

Actualmente la planificación en el Alumbrado Público General debe poseer condiciones básicas como el procurar eficiencia en el consumo energético, reducir el impacto ambiental y obtener un aceptable retorno de la inversión, mejorando la percepción de la seguridad y confort visual de la población. [10]

1.5.2. Alumbrado público en la Provincia de Cotopaxi

Para el caso de la Provincia de Cotopaxi, registra un total de 53.544 luminarias de diferentes tipos y potencias.

En la Fig. 5 se observa la distribución de luminarias instaladas, visual mente se observa una mayor concentración en el Cantón Latacunga.

En comparación a los datos obtenidos en el plan maestro de electrificación del 2018, a 28 de febrero de 2021 la Provincia de Cotopaxi ha presentado un incremento de 6224 luminarias dando un total de 53.544 con el siguiente detalle:

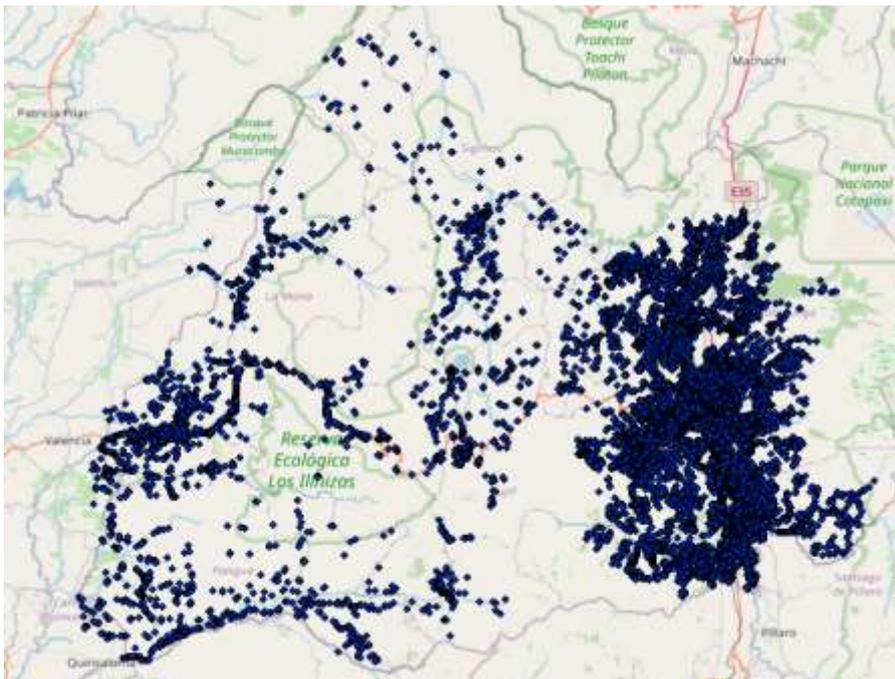


Fig. 5 Distribución geográfica de luminarias instaladas en la Provincia Cotopaxi

Fuente: Base de datos de ArcGIS de ELEPCO S.A.

En la tabla 3 se realiza una descripción de los cantones con la cantidad de luminarias instaladas, a la vez se observa los diferentes tipos de tecnologías instaladas, de esta manera se procede a establecer los sectores a intervenir con la propuesta de telegestión.

Tabla 3 Luminarias instaladas por Cantón

CANTON	LED	Mercurio Abierta	Mercurio Cerrada	Proyector Mercurio	Proyector Sodio	Sodio Abierta	Sodio Cerrada	Total General
LA MANA	215	113	18	9	60	84	3720	4219
LATACUNGA	1021	762	1143	72	197	126	24077	27398
PANGUA	3	67	9	5	45	26	1600	1755
PUJILI	73	303	501	49	105	52	7126	8209
SALCEDO	183	266	190	5	111	18	6480	7253
SAQUISILI		69	76	7	24		3129	3305
SIGCHOS		45	62	8	26	59	1208	1405
Total luminarias	1495	1622	1999	155	568	365	47340	53544

Fuente: Realizado por los postulantes

Para mayor detalle de la infraestructura de APG refiérase al Anexo 1

La Fig. 6 se indica los porcentajes de potencia instalada por Cantones, donde cantón Latacunga registra un 51% de luminarias instaladas, con una potencia instalada de 4.2MW, los cantones de Pujilí y Salcedo en un 15% equivalentes a 11 y 10 MW respectivamente, Saquisili con un 6% representa 0.4MW, finalmente los Cantones Pangua y Sigchos con un 3% equivalentes a 0.23MW y 0.19MW respectivamente, finalmente el Cantón La Mana mantiene el 1% con una potencia instalada de 0.073MW.

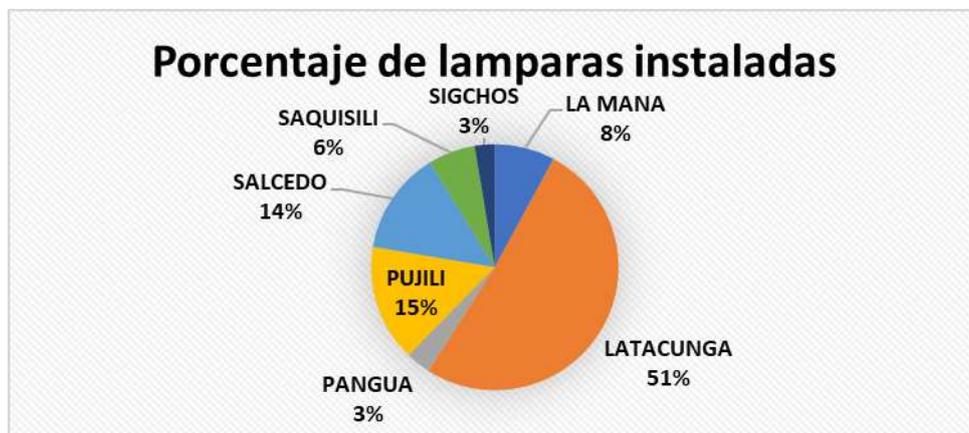


Fig. 6 Porcentaje de luminarias por cantón de la Provincia de Cotopaxi.

Fuente: Realizado por los postulantes

1.6. Luminarias con tecnología LED

Actualmente en el sector de alumbrado público se utilizan varias tecnologías, en la Fig. 7 se muestra las tecnologías actualmente usadas, donde algunas van quedando obsoletas y otra presentan un gran desarrollo tecnológico, es así como la nueva tendencia es el uso de lámparas LED, a continuación, se presenta las respectivas ventajas y desventajas del uso de esta tecnología.

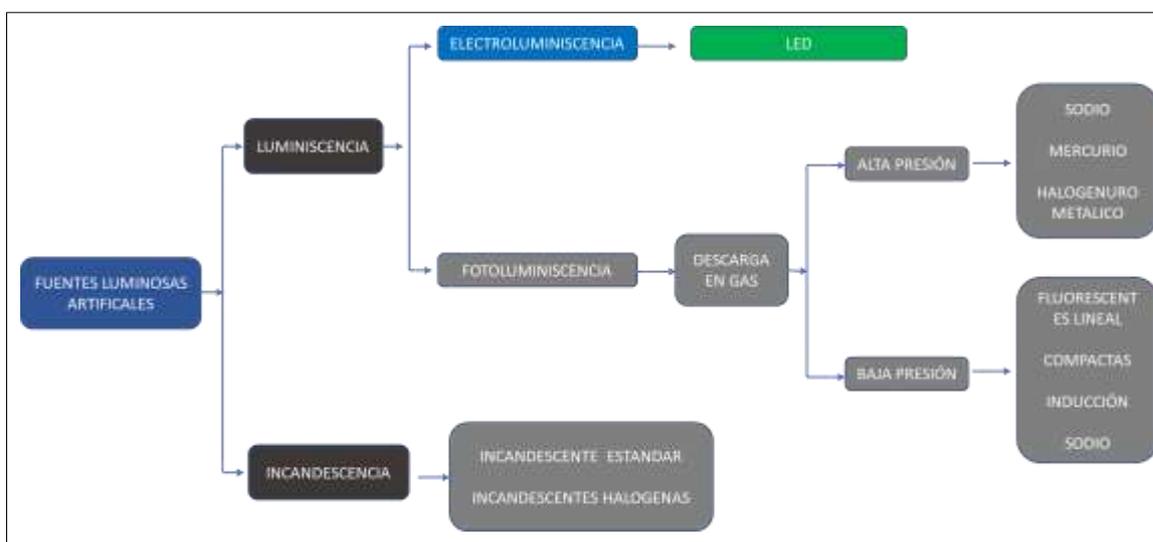


Fig. 7 Fuentes luminosas artificiales para alumbrado público.

Fuente: Realizado por los postulantes

Ventajas Medioambientales

- No contienen metales pesados como mercurio u otros.
- Menor emisiones de CO₂, consiguiendo la misma iluminación a las tradicionales.
- Alto índice de reproducción cromática (reproduce fielmente los colores de los objetos, en comparación a una fuente de luz natural o ideal).
- Menor contaminación lumínica, su emisión es direccionada.
- Larga vida útil, reduce la necesidad de materia prima.
- Sin radiación infrarroja ni ultravioleta.

Ventajas económicas

- Menor consumo energético en comparación a lámparas tradicionales, presentan una reducción de 65% con respecto a lámparas fluorescentes, 80% en relación con lámparas halógenas e incandescentes y un 50% con respecto a lámparas de bajo consumo.
- Amortización muy rápida en tiempos de recuperación menor a 3 años.

- Alta durabilidad en un rango de 15.000 a 50.000 horas.
- Mantenimiento del flujo luminoso sobre el 70% original durante su vida útil.
- Reducción en costo de mantenimiento por costos de reposición de nueva lámpara y mano de obra.
- Fabricados en aluminio y plástico, no requiere protección extra.

Ventajas en diseño y arquitectura

- Existen de diferentes tamaños y diseños.
- Amplia gama de tonos desde 3000 hasta los 7500K.
- Flujo luminoso de 100% en el encendido.
- Mejora la eficiencia del sistema al emplearse luz directa.
- No presentan problemas de encendidos bajo condiciones climáticas de frío.
- Robustez y seguridad frente a vibraciones.
- No existe dispersión de luz, debido a la direccionalidad de los LEDs
- La regulación es total sin cambio de color.
- Posibilidad de cambios de colores en una misma lámpara
- Se puede usar ópticas de plástico de alta eficiencia para incrementar la luminosidad.

Desventajas

- Altas temperaturas, a partir de 65°C, los LEDs se estropean.
- Requieren una elevada disipación térmica, no generan tanto calor que las convencionales, pero es necesario disipadores de aluminio para garantizar un mayor tiempo de vida de la lámpara.
- Precio elevado en comparación a las convencionales.
- A partir de potencias mayores a 100W, es muy poco competitivo y sus costes son muy elevados.

1.7. Esquema de mantenimiento de instalaciones de alumbrado Público

En el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”, menciona que todas las instalaciones de alumbrado público deben contar con un plan de mantenimiento que garantice el mantenimiento de los niveles de eficiencia energética y los parámetros de iluminación. [11]

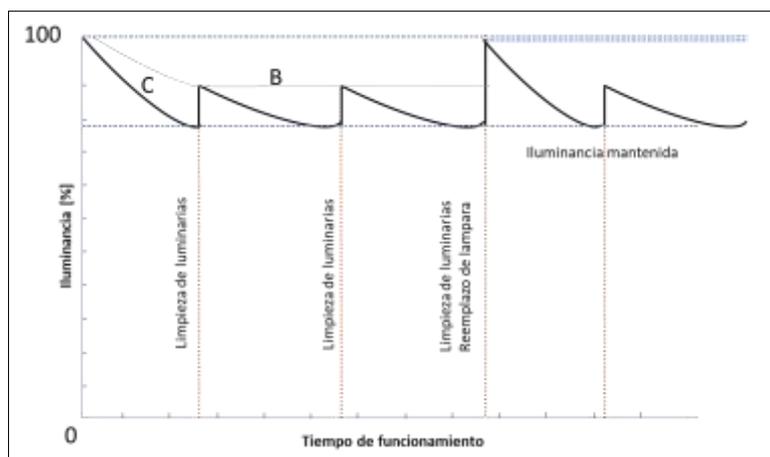


Fig. 8 Esquema de mantenimiento de instalaciones de alumbrado público.
Fuente: Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”

En la Fig. 8 se muestra el plan de mantenimiento, donde la curva B representa la depreciación del flujo luminoso de la lámpara (DLB), la curva C corresponde a la curva del factor de ensuciamiento (FE). [11]

La periodicidad de la limpieza de la luminaria y/o cambio debe ser con la finalidad que garantice el alumbrado público funcione por encima de los valores mínimos establecidos.

Además, se observa que a medida que pasa el tiempo la luminaria sufre de envejecimiento y degradación de sus materiales por lo tanto incrementa la opacidad y/o reducción de reflectividad en los materiales, por lo tanto, se aleja del valor promedio de iluminancia 100%, hasta llegar al final de su vida útil. [11]

1.8. Telegestión

En el plan maestro de electrificación, en el 2013-2022 CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad), hoy ARCONEL, hace referencia a la implementación de planes de eficiencia energética, así como de sistemas de gestión sustentable y de riesgos que integren los esfuerzos de los agentes del sector eléctrico en todas sus etapas funcionales, En General la telegestión es un conjunto de productos basados en las tecnologías informáticas, electrónicas y de telecomunicaciones que permiten el control a distancia de instalaciones técnicas aisladas o distribuidas geográficamente.

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. [12].

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.

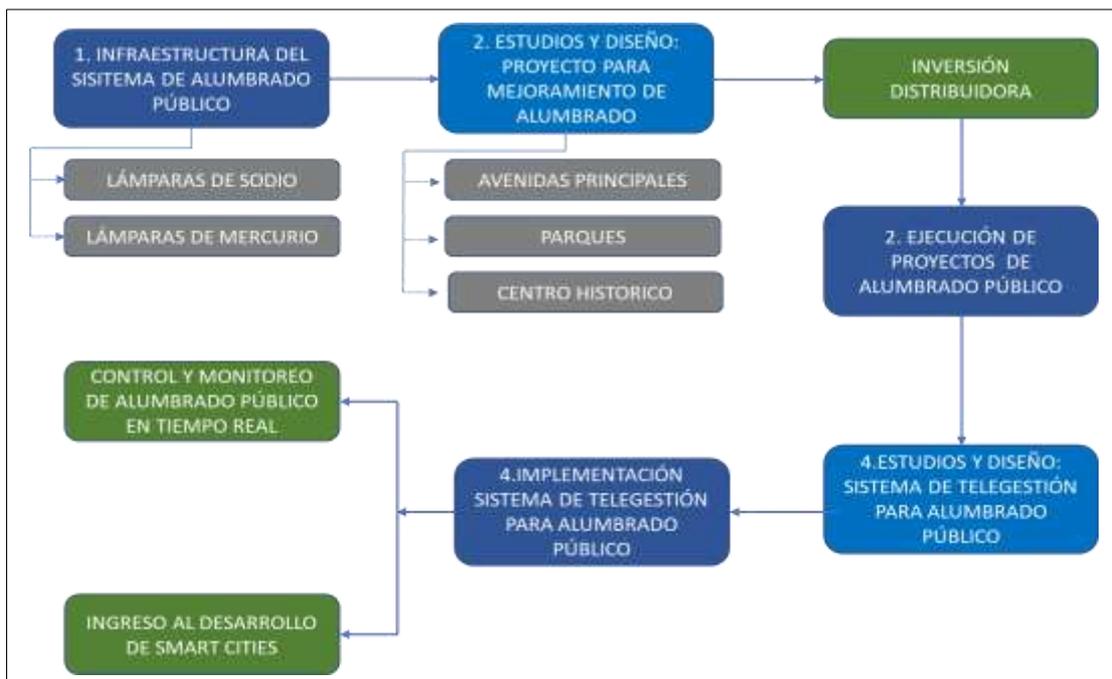


Fig. 9 Esquema de telegestión para distribuidoras
Fuente: Revista Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte EEASA.

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.

En el presente diagrama se indica el esquema para la implementación de telegestión.

1.8.1. Niveles de un sistema de telegestión.

Un modelo de telegestión está relacionado a los principios de optimización en recursos, ahorro de energía, mejora de calidad de vida y confiabilidad del servicio de alumbrado público, es la razón por la que se establece niveles de control, como se detalla a continuación.

Primer nivel

Constituido principalmente por los módulos controlador de luminarias (MCL), su función principal es reporte de estado de operación ON/OFF, reporte de fallas, control lumínico, transmite los datos al siguiente nivel del controlador, mediante un sistema de comunicación.

Segundo nivel

Conformador por los equipos instalados en los centros de distribución, donde se realiza el control exclusivo de alumbrado público en baja tensión 120-240V o 127/220 V, es aquí donde se registra los diferentes parámetros eléctricos, fallos en los circuitos de baja tensión, misma información es transmitida al nivel superior.

Tercer nivel

Para este nivel se hace referencia al Centro de control del sistema de Alumbrado Público, es aquí donde se recibe la información emitida por los centros de distribución, permite gestionar la operación de los componentes del sistema, permite realizar la supervisión y control de la información del sistema para tomar acciones correctivas. En este nivel se procesa las señales eléctricas y/o eventos, manteniendo un registro de alarmas, eventos, reportes permitiendo realizar el análisis y cálculo de indicadores, es así como se permite mantenimientos en un tiempo menor a 72 horas.

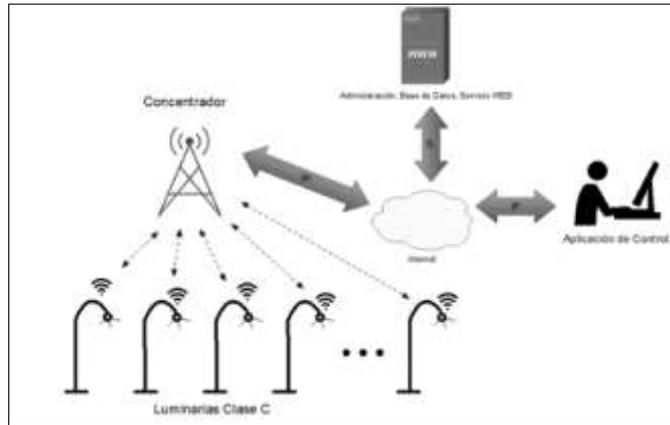


Fig. 10 Cuadro esquemático de conexión de luminarias y base de datos

Fuente: Realizado por los postulantes

1.9.Cálculo de energía de alumbrado publico

Si el servicio de alumbrado público puede ser medido, el consumo será determinado mediante el uso de un medidor, en el caso de no existir un medidor de energía la empresa eléctrica determinará el consumo en base a la carga instalada resultante de la cantidad de luminarias por tipo, multiplicadas por un factor de utilización y por números de horas al mes aplicando la siguiente formula: [13] [2]

$$Energia_{eap} = T * \sum_{i=1}^n Ni * f_{ui}(P_i + CA_i)$$

Ec. 2 Energía de la lámpara de alumbrado publico

Donde:

T = Número de horas del mes, menos las horas de interrupciones dadas en ese mes.

N = Tipos de luminarias distintas por Alimentador

P_i = Potencia de las luminarias tipo (i)

CA_i = Consumo de auxiliares para luminarias(i), depende de la potencia instalada.

N_i = Numero de luminarias del tipo(i) en el alimentador

f_{ui} = Factor de utilización de las luminarias(i), 0.5 para alumbrado general y 1 para túneles, pasos deprimidos y semaforización.

En la siguiente tabla se detalla las potencias máximas en auxiliares de luminarias.

Tabla 4 Potencia en auxiliares de luminarias.

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

Fuente: Realizado por los postulantes

1.10. 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.

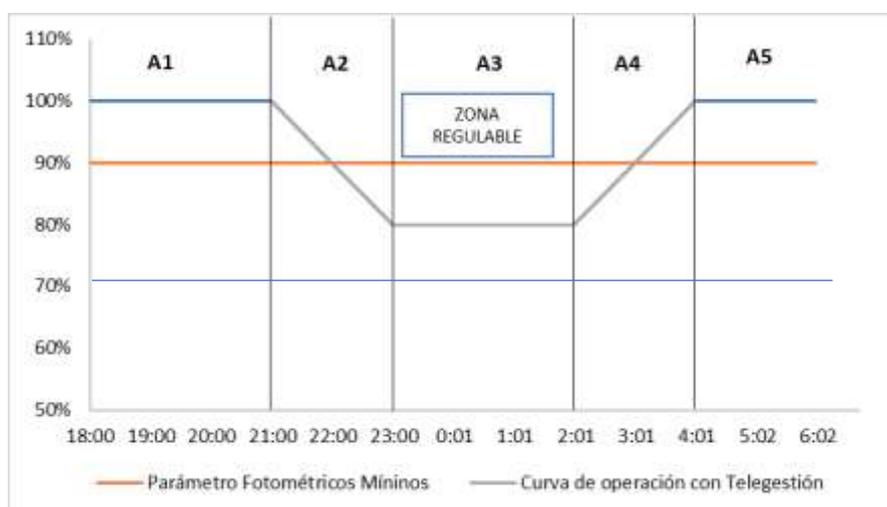


Fig. 11 Regulación de intervalos de tiempo y niveles de Luz
Fuente: Revista Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte EEASA.

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 Fig. 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.

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 Fig. 8, 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.

1.11. 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 12 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 [6]. [13]

1.11.1. 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 5. [13] [13]

Tabla 5 Clases de alumbrado para 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	
Alta (más de 1000 vehículos/hora)	M1
Media (entre 500 y 1000 vehículos/hora)	M2
Baja (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	
Pobre	M1
Bueno	M2
Vías urbanas de tráfico importante, carreteras radiales. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:	
Pobre	M2
Bueno	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:	
Pobre	M4
Bueno	M5

Fuente: Resolución Nro. ARCONEL-054/18

1.11.2. Los parámetros 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 6 para luminancia, cuando este es el criterio aplicado. [13] [13]

Tabla 6 Parámetros fotométricos para vías

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 ² Mínimo Mantenido	Factor de Uniformidad Uo Mínimo	TI% Máxima Inicial	Factor de uniformidad Longitud de Luminancia UL min	Relación de entorno SR Minina
M1	2	0.4	10	0.7	0.5
M2	1.5	0.4	10	0.7	0.5
M3	1	0.4	10	0.7	0.5
M4	0.8	0.4	10	NR	NR
M5	0.6	0.4	10	NR	NR

Fuente: Resolución Nro. ARCONEL-054/18

1.11.3. Vías para tráfico peatonal

Tanto para vías motorizadas como tráfico peatonal, se especifica las clases de iluminación, de tal manera se categoriza en la siguiente tabla 7:

Tabla 7 Clases de iluminación

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.

Fuente: Resolución Nro. ARCONEL-054/18

1.11.4. Parámetros fotométricos para tráfico peatonal

Para vías peatonales y ciclísticas, se establecen los parámetros fotométricos para tráfico motorizado, en la tabla 8 se establece los valores mínimos de iluminación. [13]

Tabla 8 Requisitos mínimos de iluminación.

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

Fuente: Resolución Nro. ARCONEL-054/18

1.12. Trafico 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:

- 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.

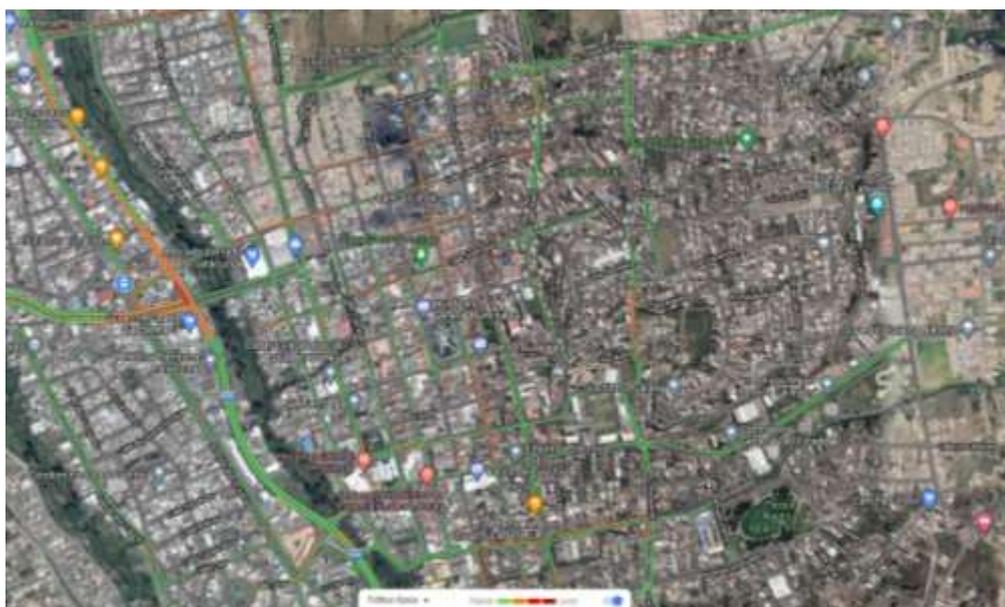


Fig. 12 Trafico en la ciudad de Latacunga

Fuente: Google Maps

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:

Tabla 9 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%

Fuente: Realizado por postulantes

1.13. Prospectiva

La prospectiva permite descubrir factores, (tendencias, eventos, propósitos) potencialmente portadores de futuros, los que con la aplicación de otros procedimientos de análisis pasarían desapercibidos o desestimados para la toma de decisiones. [14]

En tanto se acepte que el futuro no está predeterminado, al menos no del todo, se pueden crear, develar, descubrir, diseñar y hasta construir futuros más convenientes, más factibles y deseables. Para ello, el instrumento estratégico más pertinente es la planeación prospectiva. [15]

La prospectiva centra, clarifica y fortalece el binomio “utilidad-factibilidad”. La utilidad está representada por los seis elementos siguientes:

- Visualización de futuros posibles;
- Diagnóstico del presente desde el futuro;
- Diseño de un futuro para el futuro;
- Construcción del mejor futuro posible (futurible);
- Evaluación prospectiva (holística y teleológica), y
- Acción permanentemente retroalimentada. [15]

1.14. Fundamentación metodológica

Enfoque

La presente investigación tiene un enfoque mixto, ya que si bien es cierto se pretende describir de una forma cualitativa el impacto de la tele gestión en el alumbrado público del Ecuador mediante indicadores de eficiencia energética; se busca también mostrar de una forma cuantitativa valores aproximados de ahorro energético que se traducen en dinero que las compañías distribuidoras se ahorrarán al mantener funcionando el alumbrado público.

Tipo de investigación

Caso de estudio

Esta investigación es un caso de estudio, y como tal, se pretende analizar todas las alternativas viables para una correcta implementación de la tele gestión en el alumbrado público, como también su impacto en caso de ser implementada la tele gestión en el país.

Enfoque descriptivo

Esta investigación tiene un componente descriptivo ya que se pretende enfatizar las ventajas de la tele gestión al momento de aplicarse al alumbrado público, definiendo sus ventajas y desventajas.

Enfoque explicativo

Este proyecto tiene un componente explicativo ya que pretende explicar los beneficios de la tele gestión en el país, aplicándolo al alumbrado público, siendo esa información una guía para que se ejecuten posteriormente análisis más especializados para su implementación.

Componente histórico

El presente proyecto se torna una investigación histórica 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

Técnicas de recolección de información

Para realizar el análisis prospectivo de las Tecnologías de Telegestión se usa la metodología Holt Winters, principalmente para identificar 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.

En el caso del análisis de la matriz energética para determinar el escenario base y para proyectar el consumo de esta a futuro usando el método de Holt – Winters 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, número de lámparas, tecnología y potencia instalada de las luminarias en la provincia desde el año 2012 hasta el 2020.

Definición de hipótesis o supuestos de partida

Es un hecho ineludible el incremento de zonas residenciales, ya sea en el sector urbano o rural, la población requiere periódicamente nuevas instalaciones de alumbrado público por lo tanto existe una 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 además es apoyado por la legislación ecuatoriana al ser una práctica amigable con el medio ambiente, tal como se cita en el apartado 1.1 del presente proyecto, en cuanto a la tele gestión en alumbrado público, existen muy pocos casos documentados, y ninguno de ellos es a gran escala, por este motivo, nuestro modelo inicial de caso de estudio sobre una red de alumbrado público con casi nula automatización; el hecho de que la tele gestión no esté implementada a gran escala dentro de Cotopaxi nos da un amplio margen de mejora, margen que será definido después del análisis prospectivo, pero se estima lograr significativos porcentajes de optimización, los cuales sean atractivos para las empresas nacionales y motiven a su implementación progresiva en Ecuador

Procedimientos empleados para análisis de información

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.

1.15. Conclusiones Capítulo I

- La matriz energética ha presentado cambios a lo largo de esta década, cambios que tienden siempre a la expansión de redes eléctricas, actualmente no existe proyectos de telegestión implementadas en la provincia de Cotopaxi.
- El incremento del sector de alumbrado público ha registrado la instalación de 1.548.918 luminarias, con una potencia instalada de 250 MW, esto da lugar a usar tecnologías más eficientes y un sistema que permita un manejo adecuado del accionamiento de dichas lámparas mediante la tele gestión.
- El consumo de energía de alumbrado público representa el 7% del total, mediante el estudio prospectivo se busca identificar zonas idóneas para su implementación de esta manera administrar de manera efectiva y reducir costos de operación.

CAPÍTULO II.

PROPUESTA

2. Título del proyecto

Análisis prospectivo de la telegestión en alumbrado público y su incidencia en el consumo energético en la Provincia de Cotopaxi.

2.1. Objetivo del proyecto

Analizar la incidencia de la telegestión en el alumbrado público de la provincia de Cotopaxi al calcular los ahorros de 16 proyectos de migración a tecnología LED y determinar su repercusión en la matriz energética a corto, mediano y largo plazo al estimar el consumo futuro de dicha matriz usando el método de Holt – Winters para determinar si es viable adoptar la telegestión en la provincia de Cotopaxi.

Justificación de la propuesta

El presente estudio es muy impórtate, haciendo referencia al uso eficiente del alumbrado público, mediante el análisis prospectivo permitirá la toma de decisiones para brindar cobertura a nuevas áreas con el servicio de telegestión, brindando un ahorro energético y económico, reducción de costes de mantenimiento e incremento de seguridad, estos parámetros influyen directamente a la reducción del consumo de energía relacionado a alumbrado público.

El diseño de estrategias será específicamente para Empresas distribuidoras, Municipios y/o entidades responsables de espacios Públicos, debido que estas entidades son los encargados de fomentar e implementar este servicio, también mediante el sistema de telegestión fomentara al ingreso a ciudades inteligentes.

2.2. Fundamentación de la propuesta

La importancia de la telegestión en el país radica en la necesidad de implementar sistemas más eficientes, reducir consumos y ahorrar energía fomentando así políticas amigables con el ambiente.

La tecnología actual nos permite realizar una telegestión en el alumbrado público de una manera bastante selectiva, pero, ¿hasta qué punto es rentable la implementación de estas nuevas tecnologías?, el presente estudio pretende dar una respuesta a esa pregunta, ya que al aplicar métodos prospectivos se pueden plantear varios escenarios posibles con el afán de encontrar el que aproveche mejor la tele gestión, esto significa, que buscamos determinar la manera correcta de implementar estos sistemas y la ubicación precisa para sacar el mejor partido al alumbrado público.

2.3. Procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados

Tal y como se describe en el capítulo 1, el modelo prospectivo generado en la presente investigación es basada en el modelo de Holt Winters, y como tal, es necesario recopilar la información necesaria para que sea capaz de predecir los consumos energéticos en años futuros.

La previsión se realiza por Cantón permitiendo identificar las tasas de crecimiento con previsiones de límite superior, normal e inferior.

Se identifican proyectos en lugares estratégicos de los cantones de Cotopaxi, con mayor influencia en el cantón Latacunga con un 52% de potencia instalada, también en cantón Pujilí, Salcedo y Saquisilí con un 15. 14 y 6% respectivamente.

Se establece una herramienta de cálculo para determinar el consumo de una lámpara LED con telegestión, el modelo permite identificar los consumos diarios de acuerdo con las afluencias peatonales y vehiculares y así establecer consumos anuales.

Paulatinamente se establece combinaciones entre mejoramiento y dotación de APG con telegestión, permitiendo conocer las previsiones a corto, mediano y largo plazo.

Finalmente se establece comparativas entre previsiones tomando en cuenta tecnologías convencionales vs combinación de convencionales y LED-Telegestión.

2.4.Rangos y periodos de estudio

Los rangos para considerarse para el presente estudio serán 3:

- **Corto plazo:** en este periodo se analizarán las consecuencias directas e inmediatas al momento de implementar la telegestión con una ventana de análisis de 4-5 años,

es decir, si se implementara la telegestión e una o varias zonas, se analizarán los datos y se dará una prospectiva hasta el año 2025.

- **Medio plazo:** en este caso, se tomará una ventana de tiempo más amplia, 10 años en donde se verán las implicaciones de la telegestión aplicada a una o varias zonas, para este análisis aparecerán más factores que determinarán la viabilidad de usar nueva tecnología en el alumbrado público, por ejemplo, los costos de mantenimiento, y vida útil de los equipos.
- **Largo plazo:** para definir una prospectiva a largo plazo consideraremos una ventana de tiempo mucho más amplia, 20 años, en donde se verá mucho mejor el comportamiento de las nuevas tecnologías y, sobre todo, donde se podría apreciar el ahorro y el rédito económico por la inversión inicial.

2.5. Escenario base

Para la implementación del sistema de telegestión se debe realizar una migración de tecnología a lámparas LED, actualmente existen tecnologías obsoletas como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 10 Porcentaje de luminarias instaladas

TIPO	Cantidad Instaladas	Porcentaje	Potencia instalada	
			W	Porcentaje
LED	1495	2,79%	150111	1,88%
Mercurio Abierta	1622	3,03%	252800	3,16%
Mercurio Cerrada	1999	3,73%	280365	3,51%
Proyector Mercurio	155	0,29%	48100	0,60%
Proyector Sodio	568	1,06%	171950	2,15%
Sodio Abierta	365	0,68%	51950	0,65%
Sodio Cerrada	47340	88,41%	7036980	88,05%
Total	53544	100 %	7992256	100 %

Fuente: Realizado por postulantes

En consecuencia, a tecnologías obsoletas, es recomendable la sustitución de lámparas de mercurio, que representan 7,05%, con una potencia instalada de 0.58MW.

2.5.1. Escenario No. 1 Plan de Mejoramiento de alumbrado publico

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.

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 lámpara, en relación con lo mencionado anterior mente 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 plomo, donde se establece el retiro o sustitución de este tipo de lámpara.



Fig. 13 Previsión de lámparas de mercurio

Fuente: Realizado por postulantes

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.

A continuación, se indica un cuadro resumen donde es necesario el mejoramiento de alumbrado público, en varios cantones de la Provincia de Cotopaxi.

Tabla 11 Lámparas de mercurio para sustitución

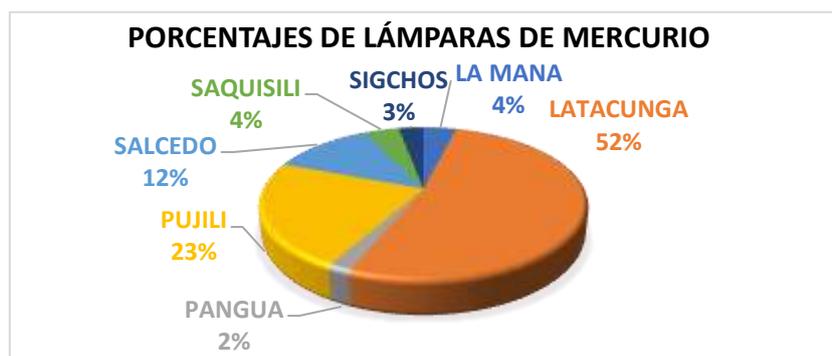
Mercurio								
AÑOS	LA MANA	LATACUNGA	PANGUA	PUJILI	SALCEDO	SAQUISILI	SIGCHOS	Total
2012	4	1131		340	165	144	99	1883
2013	66	553	55	396	144		5	1219
2014		42			3			45
2015	63	9	2					74
2016	2	105		57	8	1		173
2017	1	46	4	1	7			59
2018		9		10	1			20
2019					2			2
2020	3	3	7		126			139
2021		3						3
Proyector Mercurio								
AÑOS	LA MANA	LATACUNGA	PANGUA	PUJILI	SALCEDO	SAQUISILI	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
Total	148	1973	73	853	461	152	112	3772

Fuente: Realizado por postulantes

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.

Mediante el uso del Software ArcGIS, se identificó que este tipo de lámpara se encuentra instalado en Zonas Urbanas, por tal motivo, la sustitución debe ser por lámparas de Sodio. En la Fig. 14 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.

Fig. 14 Regulación de intervalos de tiempo y niveles de Luz

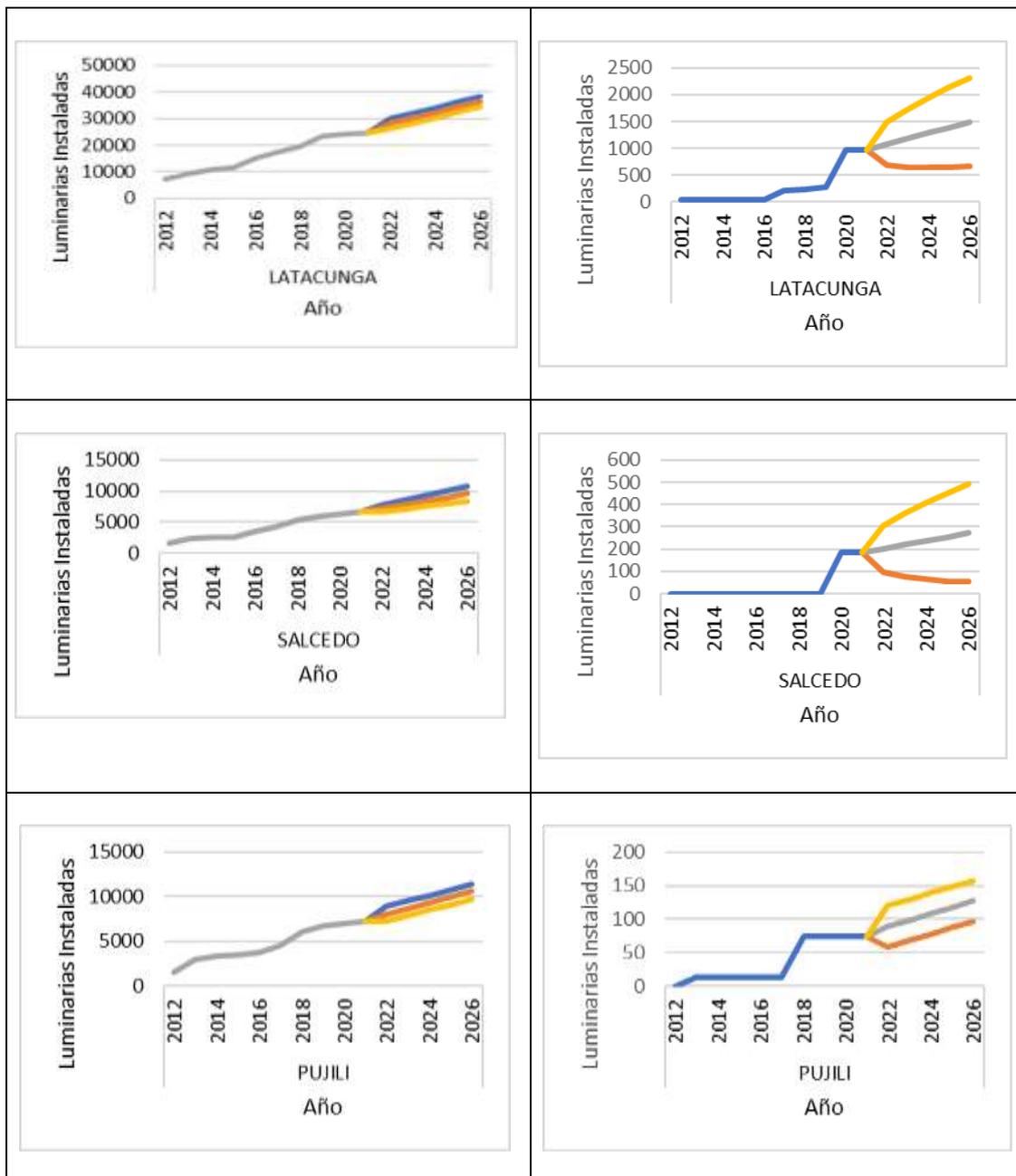


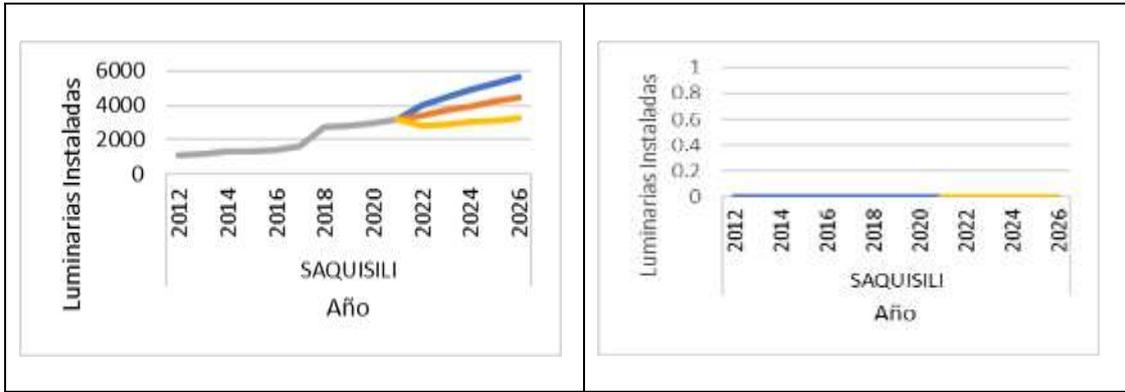
Fuente: Realizado por postulantes

2.5.2. 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.

Tabla 12 Previsión de Lámparas Sodio y LED de varios Cantones.





Fuente: Realizado por postulantes

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, para mayor detalle revisar Anexo 2.

2.6. Escenario No. 2 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 13, se establece un resumen de las cantidades de materiales y características técnicas existentes en la Av. 5 de junio al intercambiador de Pujilí.



Fig. 15 Vía Av. 5 de junio con configuración Unilateral en calzada diferenciales

Fuente: Fuente Google Maps

Además, en la Fig. 15 se indica el tipo de configuración que corresponde a esta vía, mismo parámetro

Tabla 13 Lámparas existentes en el paso lateral

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

Fuente: Realizado por postulantes

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.

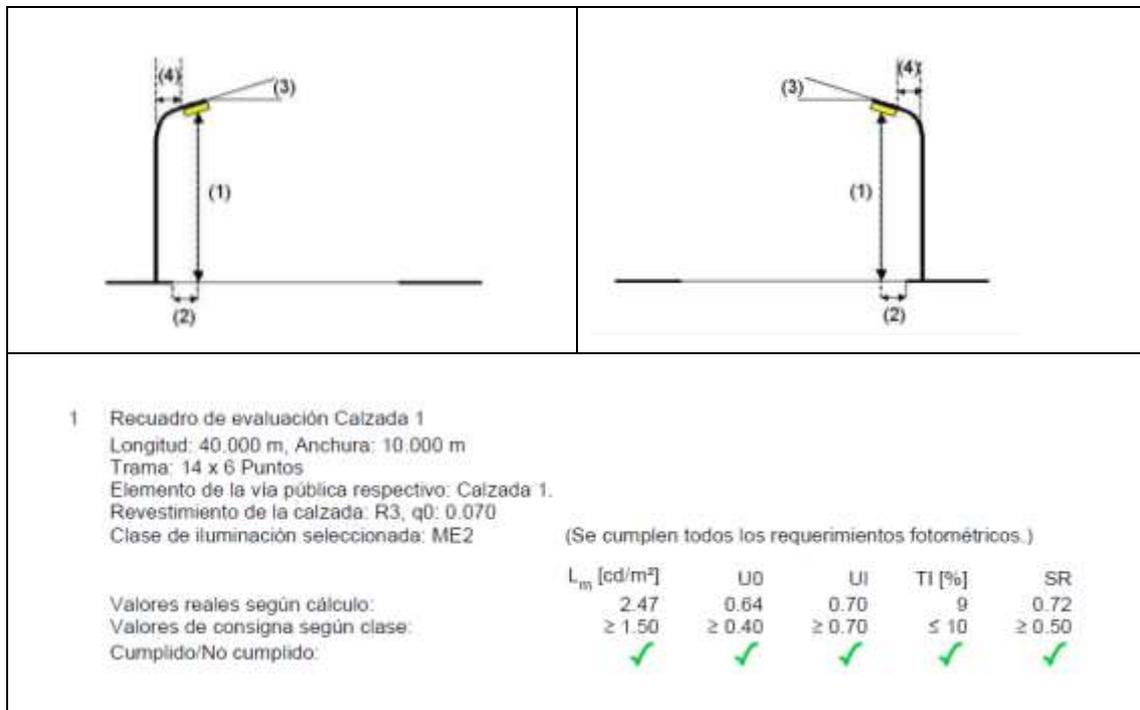


Fig. 16 Resultados fotométricos de lámpara 200W- Marca LEDEX

Fuente: Fuente Software DIALux

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

En el **Anexo 3** se detalla las características de los proyectos de estudio para telegestión.

2.7. Modelo econométrico

2.7.1. Creación de la herramienta de calculo

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.
- 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.[13]

El presente estudio gira en torno a una sola cosa, ahorro energético que se traduce en un redito 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 en el capítulo 1, más todas aquellas que puedan tener algún tipo de influencia en el ahorro mediante la telegestión aplicada al alumbrado público. [13]

Un modelo econométrico está formado por una o varias ecuaciones en las que la variable explicada o endógena depende de una o varias variables explicativas.

Un modelo econométrico está formado por:

- una o varias ecuaciones o relaciones estructurales,
- las variables explicativas y explicadas,
- los parámetros (α y β) a estimar, y, por último,
- un conjunto de observaciones o datos necesarios para el proceso de estimación.

En función del número de ecuaciones, un modelo econométrico puede ser:

- uniecuacional
- multiecuacional.

En cada ecuación, la variable explicada se denomina endógena y se representará en general con la letra Y. Una variable es endógena si es influida por alguna otra variable del modelo (endógena o no).

Los parámetros o coeficientes para estimar en un modelo se denominan estructurales porque representan el efecto directo o estructural de cada variable explicativa (predeterminada o endógena, en modelos multiecuacionales) sobre cada variable endógena o explicada. Son cantidades fijas o constantes que se deben estimar a partir de los datos de las variables. Los modelos se clasifican en lineales o no lineales en función de los parámetros; por ejemplo, son modelos lineales los siguientes:[13]

Las perturbaciones aleatorias ε son términos que se introducen en cada ecuación estructural (salvo en las identidades contables) para tener en cuenta la no exactitud del modelo. Representan el efecto de otras variables explicativas no incluidas en el modelo. Los valores estimados u observados de estas perturbaciones se denominan residuos.

Los datos o información estadística sobre las variables del modelo se usan para estimar los coeficientes o parámetros estructurales. El conjunto de datos disponible es generalmente una muestra aleatoria tomada de una población o colectivo, al que se trata de aplicar el modelo estimado; en este caso se está ante un problema de inferencia estadística, y cada una de las observaciones debe ajustarse al modelo.

Dependiendo que los valores de las variables se tomen en distintos instantes del tiempo, o que se tomen en un mismo instante, pero se refieran a distintas personas, empresas o unidades experimentales, las variables y los modelos correspondientes se denominan dinámicos en el primer caso, y estáticos o de corte transversal en el segundo. Al estudiar modelos dinámicos se empleará el subíndice t para hacer referencia a los distintos datos, mientras que en los modelos estáticos es más frecuente usar el subíndice i. [13]

Fases en la construcción de un modelo

Al plantear la estimación de un modelo econométrico es necesario disponer de información estadística de las variables que se utilizarán en la construcción de éste, y tener claros los objetivos perseguidos.

En la elaboración de un modelo se distinguen tres fases:

Especificación:

En la fase de especificación se formula el modelo estructural, y para ello hay que decidir, en primer lugar, si habrá una sola variable endógena o, por el contrario, más de una. A continuación, deben seleccionarse las variables explicativas de cada una de las ecuaciones del modelo y, por último, se formularán esas ecuaciones eligiendo la forma de cada una de ellas (lineal o no lineal). Es muy frecuente que en esta fase se planteen varios modelos alternativos, ya que, aunque se tenga una idea previa de la forma del modelo, es recomendable probar distintos modelos similares alternativos, incorporando todas o parte de las variables explicativas, con distintas formas funcionales, etc., hasta lograr el modelo definitivo.

Estimación de parámetros

La fase de estimación de los parámetros estructurales se aborda una vez especificado el modelo. Los métodos de estimación dependerán del tipo de modelo. Si éste es uniecuacional, los métodos más usuales son:

- Método de mínimos cuadrados ordinarios,
- Método de mínimos cuadrados generalizados o de Aitken, y
- Método de máxima verosimilitud.

En el caso de modelos multiecuacionales, cada ecuación se puede estimar (si cumple unas condiciones de estimabilidad o identificabilidad) mediante unas variantes de los métodos anteriores:

- Método de mínimos cuadrados bietápicos, o
- Método de máxima verosimilitud con información limitada,

y si todo el modelo es estimable o identificable, mediante

- Método de mínimos cuadrados trietápicos, o
- Método de máxima verosimilitud con información completa.

Los estimadores obtenidos se juzgan en función de las propiedades de su distribución muestral.

1. Fase de contraste del modelo

En la fase de contrastes diagnósticos o de validación del modelo, se trata de comprobar si la especificación ha sido adecuada. Para ello se formulan una serie de contrastes de hipótesis sobre los coeficientes con objeto de confirmar la influencia de una variable explicativa, o de eliminarla del modelo.

Si en la fase de contrastes de validación el modelo no se considera adecuado (total o parcialmente), es necesario volver a la especificación inicial y modificarla, iniciando de nuevo todo el proceso.

Cuando el modelo supere los distintos contrastes de validación, podrá ser utilizado para la previsión de las variables endógenas, o para interpretar económicamente los parámetros estructurales.

2.7.2. 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 sistema almacena el consumo con intervalos de 10 minutos de cada una de las fases que alimentan al cuadro, por lo que podrá analizar potencia activa, potencia reactiva, por fase, en diferentes intervalos de tiempo.

El sistema envía alarmas automáticas si detecta un corte en la alimentación del cuadro o el salto de algún diferencial, así como sobreconsumos por posibles conexiones ilegales a la red.

También envía alarmas de robo de cableado en el caso de que detecte un posible corte en el mismo.

El sistema hace un barrido automático nocturno del funcionamiento de las luminarias indicando aquellas que tienen alguna incidencia.

En tiempo real el personal de mantenimiento podrá acceder al funcionamiento de la luminaria pudiendo conocer entre otras características:

- Modelo de luminaria
- Voltaje de entrada
- Temperatura de trabajo
- Frecuencia de la red
- Horas de funcionamiento acumuladas
- Potencia del módulo LED

Estos datos permiten al Servicio de Atención Técnica (SAT) identificar y subsanar la incidencia en ocasiones incluso antes de que llegue a producirse (mantenimiento predictivo).

El sistema propietario se muestra más a detalle en el anexo 7 correspondiente al catálogo de alumbrado público 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 siguiente tabla:

Tabla 14 Descripción de las variables y constantes usadas

Representación	Tipo	Descripción
y_1	Variable endógena	Consumo diario de una lámpara LED
α	Variable endógena	Tiempo que la lámpara está al 100%
β	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: Realizado por postulantes

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:

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

Ec. 3 Consumo

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 [6], 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:

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

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

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

Ec. 4 Herramienta de cálculo para el consumo de una lámpara LED con telegestión

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 siguiente Fig.:

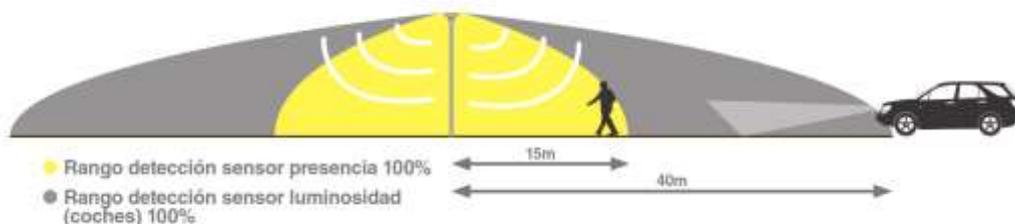


Fig. 17 Sistema de detección de peatones y vehículos [12]

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:

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

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

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

Ec. 5 Tiempo promedio de peatones y vehículos bajo acción de una lámpara

Usando las velocidades promedio de un peatón y un vehículo en horario nocturno [15] 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.

En la tabla 16, se han expuesto 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 está 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 cuántas personas se movilizarán 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 están dadas por:

Zona 1 – Urbana Rosa

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

Zona 2 – Urbana comercial

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

Zona 3 – Calle principal urbana

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

Zona 4 – Calle secundaria urbana

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

Zona 5 – Urbana residencial

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

Zona 6 – Acceso principal rural

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

Zona 7 – Calle secundaria rural

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

Zona 8 – Residencial rural

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

Ec. 6 Presencia de vehículos y personas en las distintas zonas consideradas

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

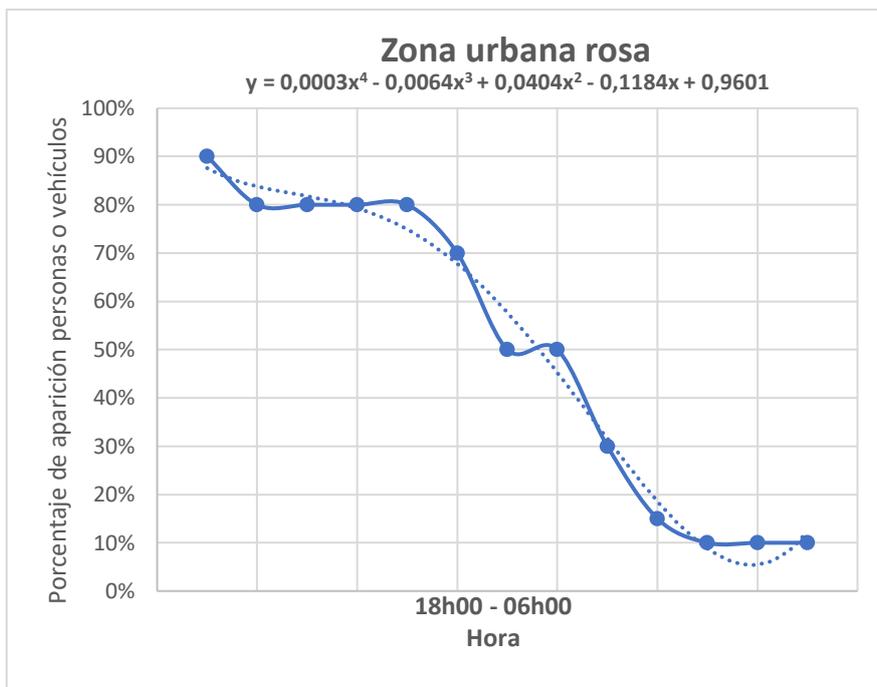


Fig. 18 Porcentaje de aparición de personas vs. hora nocturna de referencia-zona urbana

Fuente: Realizado por postulantes

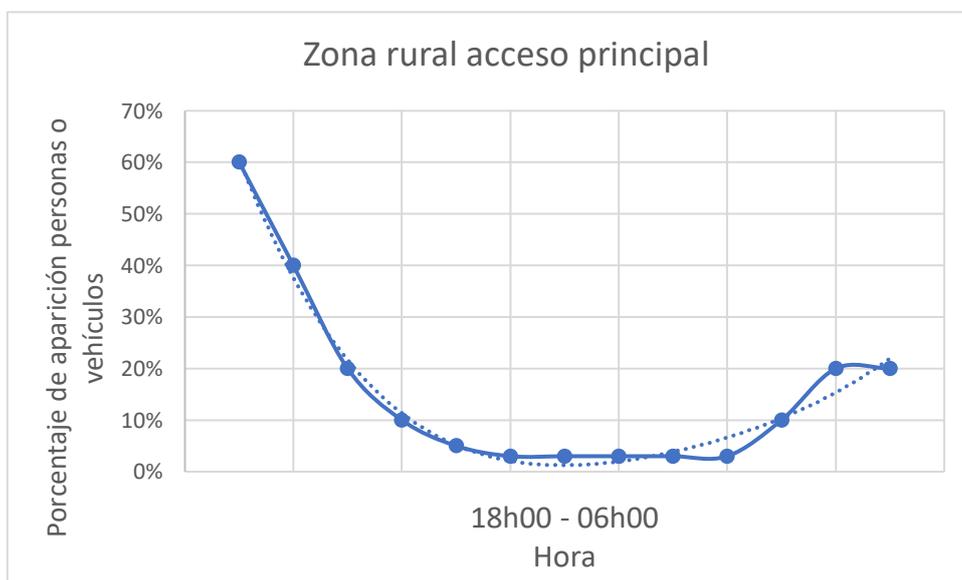


Fig. 19 Porcentaje de aparición de personas vs. hora nocturna de referencia - zona rural

Fuente: Realizado por postulantes

Tal como se puede comparar, entre las Fig. 18 y 19, 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. Ver Anexo

4

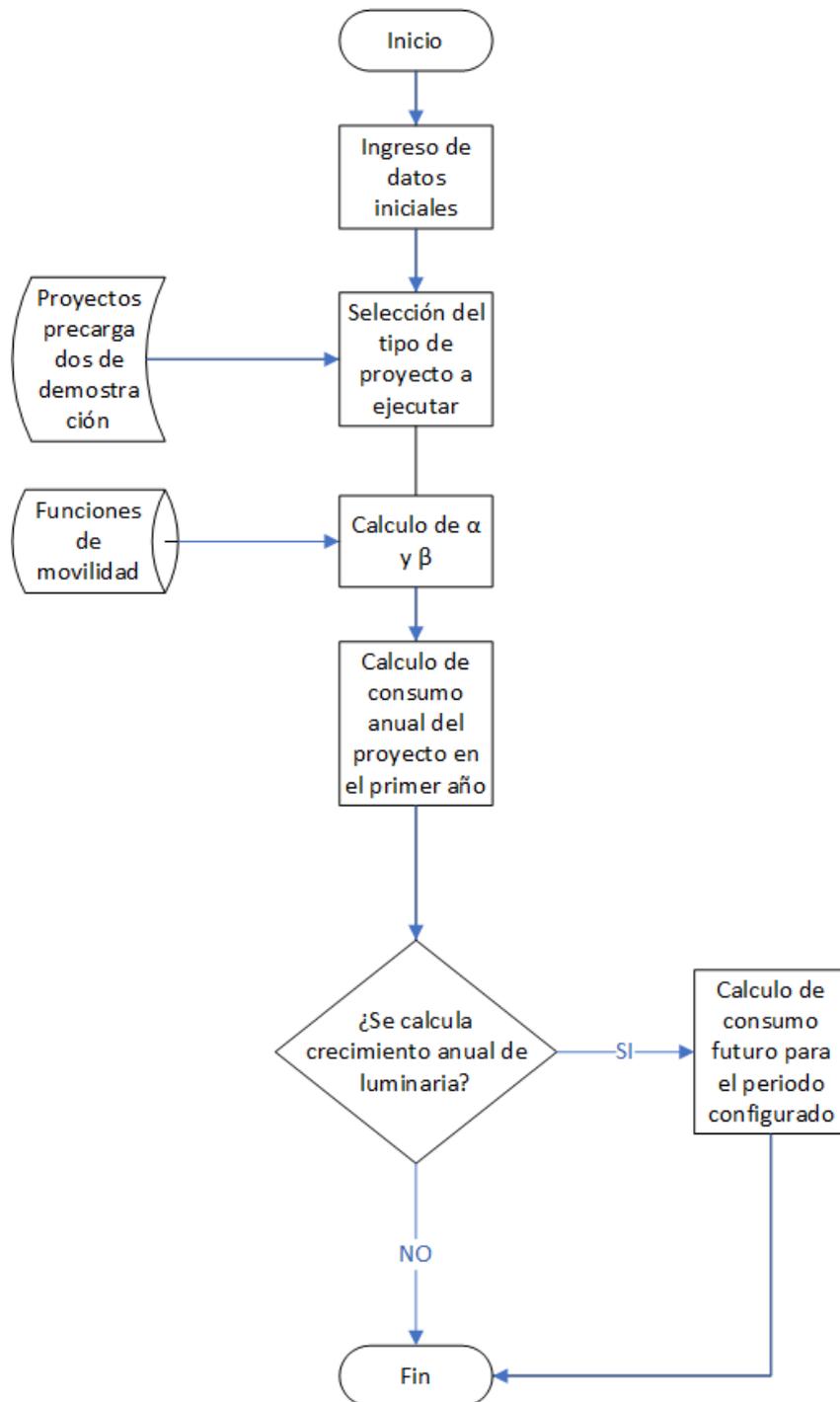


Fig. 20 Diagrama de flujo del programa implementado en Matlab

Fuente: Realizado por postulantes

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.

El programa de Matlab calcula los consumos de los proyectos ingresados en base al siguiente diagrama de flujo:

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.
3. 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.

A continuación, se muestra la interfaz del programa y una demostración de lo que puede calcular.



La imagen muestra la interfaz de usuario del programa. Incluye los siguientes campos de entrada:

- Número de potencias diferentes que tendrá en el proyecto:
- Tasa de crecimiento anual de lámparas del proyecto (%):
- Año inicial para la prospectiva:
- Año final para la prospectiva:
- Seleccione tipo de proyecto:
- Seleccione tipo de lámparas:

En la parte inferior hay dos botones: "Continuar" (azul) y "Borrar Datos" (rojo).

Fig. 21 Interfaz inicial del programa

Fuente: Realizado por postulantes

La Fig. 21 muestra la interfaz con la que se evaluarán los proyectos usando las ecuaciones planteadas.

Número de potencias diferentes que tendrá en el proyecto:

Tasa de crecimiento anual de lámparas del proyecto (%):

Año inicial para la prospectiva:

Año final para la prospectiva:

Seleccione tipo de proyecto

Seleccione tipo de lámparas

- Seleccione un tipo de proyecto --
- Luminarias nuevas implementaciones
- Sustitución total de luminarias
- Sustitución parcial de luminarias

Fig. 22 Opciones de cálculo disponibles según el tipo de proyecto

Fuente: Realizado por postulantes

Se pueden considerar tres casos que estarán en función del tipo análisis que 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.

Número de potencias diferentes que tendrá en el proyecto:

Tasa de crecimiento anual de lámparas del proyecto (%):

Año inicial para la prospectiva:

Año final para la prospectiva:

Seleccione tipo de proyecto

Seleccione tipo de lámparas

- Seleccione tipo de lámparas a usar --
- Solo lámparas LED
- Solo lámparas de sodio
- Lámparas LED y de sodio

Fig. 23 Opciones de cálculo disponibles según el tipo de lámpara

Fuente: Realizado por postulantes

La Fig. 23 muestra al usuario el tipo de tecnología a ser usada para el cálculo, se consideran las más usadas para luminaria pública y se puede seleccionar entre usar una sola tecnología o una combinación entre ambas.

Fig. 24 Inserción interactiva de los datos

Fuente: Realizado por postulantes

La Fig. 24 muestra como ingresara el usuario los datos de luminaria, una ventana ira preguntando los datos necesarios para el cálculo, estos datos se componen de: número de potencias diferentes que tendrá el proyecto, número de lámparas de cada potencia considerada, la potencia de las lámparas en vatios, numero de lámparas que serán instaladas en cada zona considerada en las ecuaciones desarrolladas, la tasa de crecimiento anual en cuanto al número de luminarias y el intervalo en el que se presentaran los datos definiendo año inicial y final para el cálculo.

A continuación, se muestran los resultados de cada caso en las siguientes graficas:

El programa de Matlab es capaz de tomar una tasa de crecimiento y mostrar una prospectiva de consumo a corto, mediano y largo plazo presentando distintos escenarios de crecimiento como se indica en la Fig. 25, 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.

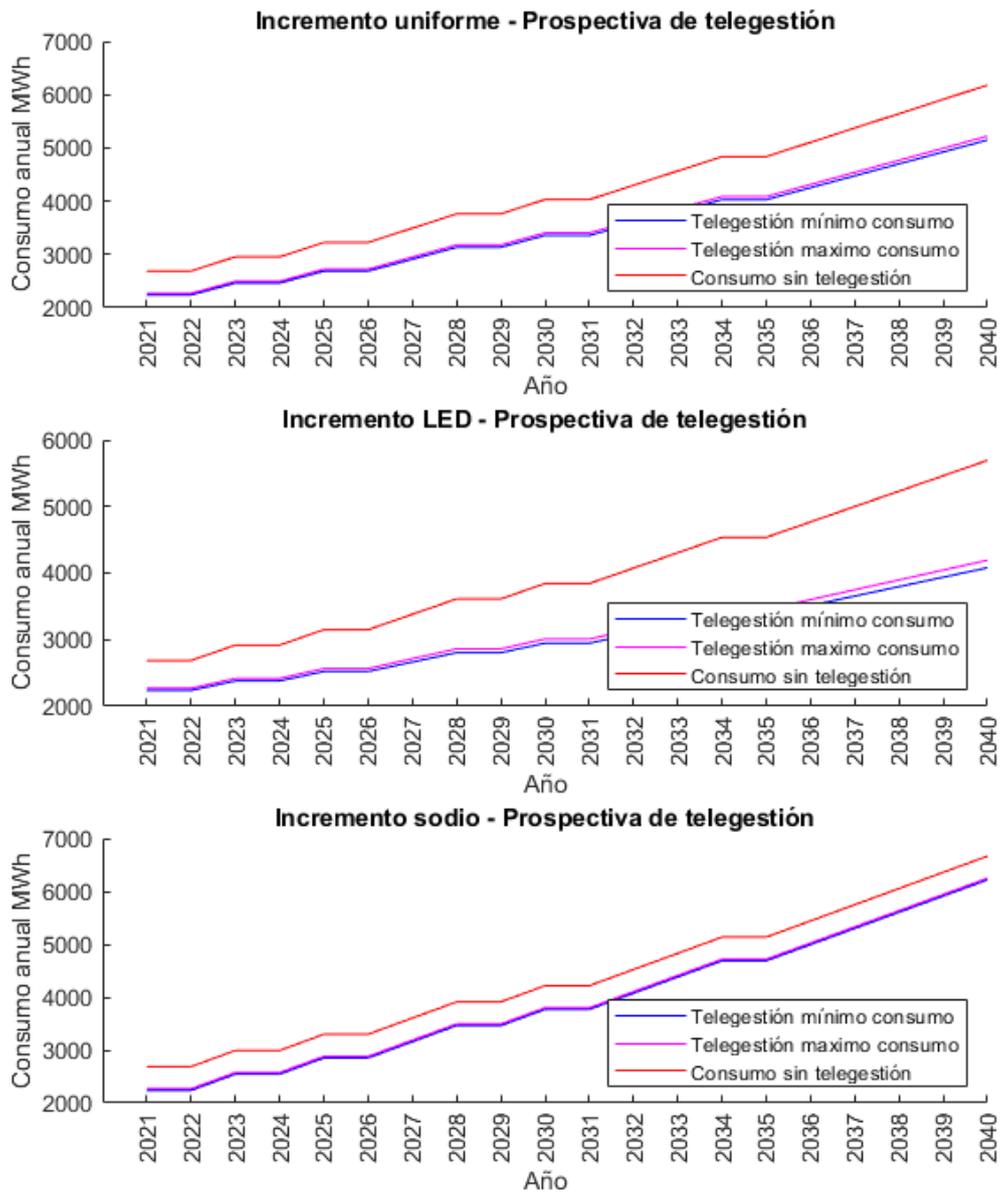


Fig. 25 Resultados generados al aplicar el caso 1.

Fuente: Realizado por postulantes

El caso dos del modelo teórico mostrado en la Fig. 27 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.

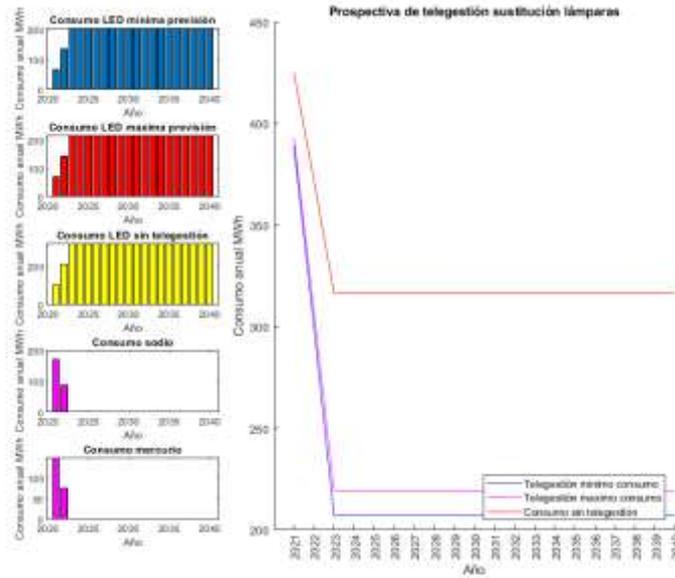


Fig. 26 Resultados generados al aplicar el caso 2

Fuente: Realizado por postulantes

En la Fig. 27 se muestra los resultados al ejecutar el caso 3 en la herramienta de calculo que consiste en emular una sustitución parcial de luminarias y mostrar los consumos a corto, medio y largo plazo.

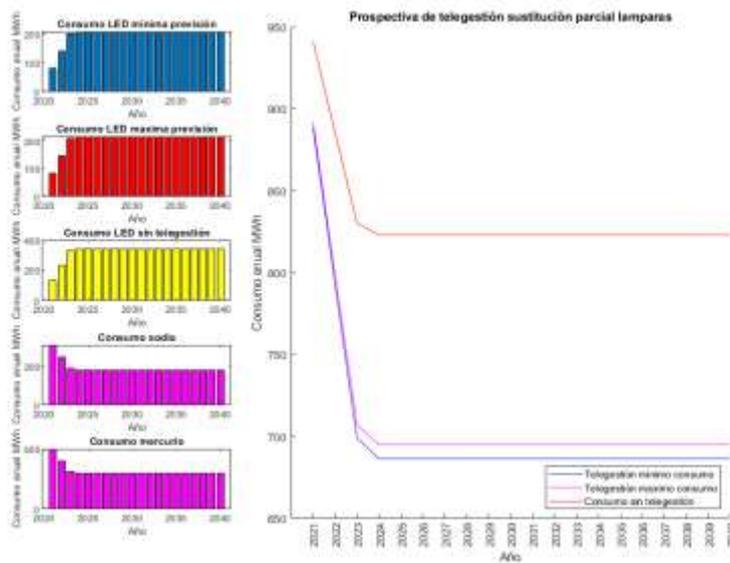


Fig. 27 Resultados generados al aplicar el caso 3

Fuente: Realizado por postulantes

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, en el capítulo 3 se discutirá mejor los resultados aplicados a la provincia de Cotopaxi

En el capítulo 3 se analizará mejor la veracidad de los cálculos obtenidos mediante la comparación del modelo teórico usando Excel para analizar los cálculos realizados.

Tal como se puede apreciar, los casos que pueden ser analizados son de interés para muchas circunstancias de nuevas implementaciones, es por eso que el código de Matlab adjuntado como anexo en la presente investigación, puede servir como referencia para futuras investigaciones e implementaciones.

2.9.Conclusiones

1. El análisis prospectivo mediante el modelo de Holt Winters se prevé el consumo del alumbrado público mediante datos históricos, con mínimo error de 3 a 4%, permitiendo establecer tasas de crecimiento en diferentes cantones y la combinación de estas una general para la Provincia de Cotopaxi
2. Mediante el software Dialux se evaluó la parte técnica, para el reemplazo de lámparas LED por Sodio de Alta presión, donde este tipo de lampara cumple con los requisitos de iluminación con un menor consumo de energía.
3. 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.
4. 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.

CAPÍTULO III.

APLICACIÓN Y/O VALIDACION DE LA PROPUESTA

A continuación, se presenta el grupo de resultados que se obtuvieron en la simulación prospectiva. El escenario base se presenta del comportamiento de la matriz de consumo del alumbrado público, sin la introducción de variables o modificación de estas.

En segundo lugar, se presenta un escenario donde se presenta la sustitución de lámparas de tecnología de mercurio a Sodio, debido que se encuentran instaladas en el sector rural de los 7 cantones de la Provincia de Cotopaxi.

En el tercer caso se realiza el ingreso de proyectos de alumbrado inteligente, que consiste en la sustitución de lámparas de sodio por LED y telegestión.

Para cada análisis se puede realizar un escenario base con el cambio de todas las variables, es decir se puede reemplazar lámparas de mercurio en los 7 cantones, en un solo cantón o en ninguno de ellos, cada uno difiere en la cantidad de luminarias, además cada Cantón presenta diferentes tasas de crecimiento en los q se puede seleccionar entre 3 tipos como son previsión normal, con límite superior o inferior.

Además, se conoce el cantón con mayor demanda en Alumbrado público es Latacunga, seguida de Salcedo, Pujilí y Saquisilí, por lo tanto, los proyectos de Telegestión se enfatizaron en estos 4 cantones.

3.1 Análisis de resultados.

En la provincia de Cotopaxi, la empresa eléctrica ELEPCO S.A., brinda el servicio de alumbrado público en áreas urbanas como rurales dentro de su área de concesión.

En este punto se presenta el comportamiento de la matriz energética de AP y se realiza una previsión a corto (año 2025), mediano (año 2030) y largo plazo (año 2040).

A continuación, se presentan las previsiones para los tres tipos de tecnologías Mercurio, Sodio y LED.

Tabla 15 Prospectiva de lámparas de mercurio

MERCURIO				
CANTON	2020	2025	2030	2040
LA MANA	148	148	148	148
LATACUNGA	1970	1973	1973	1973
PANGUA	73	73	73	73
PUJILI	853	853	853	853
SALCEDO	461	461	461	461
SAQUISILI	152	152	152	152
SIGCHOS	112	112	112	112

Fuente: Realizado por postulantes

En la tabla 15 se detalla el crecimiento relacionado a lámparas de mercurio, el mismo que no presenta crecimiento debido que su uso está prohibido

La tabla 16 representa el valor de crecimiento de lámparas LED, en todos los cantones se manejan un crecimiento, pero en los cantones Saquisili y Sigchos, no presentan antecedentes de instalación por tal motivo, previsión hacia el año 2040 no registra valores, para los cantones de estudio como Latacunga, Salcedo, Pujilí registra un crecimiento progresivo en instalación de luminarias LED,

Tabla 16 Prospectiva de lámparas LED

LED				
CANTON	2020	2025	2030	2040
LA MANA	215	332	473	754
LATACUNGA	977	1278	1747	2850
PANGUA	3	4	6	10
PUJILI	73	236	330	536
SALCEDO	183	254	343	573
SAQUISILI	0	0	0	0
SIGCHOS	0	0	0	0

Fuente: Realizado por postulantes

En la tabla 17 se observa el crecimiento por cantones de lámparas de tecnología Sodio, se observa que la previsión maneja un crecimiento lineal.

Tabla 17 Prospectiva de lámparas de Sodio

SODIO				
CANTON	2020	2025	2030	2040
LA MANA	3894	5671	7799	11917
LATACUNGA	23975	31556	41251	59974
PANGUA	1606	2082	2816	4153
PUJILI	6938	9161	12092	17681
SALCEDO	6271	8086	10737	15714
SAQUISILI	2984	3784	4952	7194

SIGCHOS 1181 1300 1505 1846
Fuente: Realizado por postulantes

En resumen, en la tabla 18 se indica que el Cantón Latacunga maneja el 57% de la capacidad instalada, donde la previsión para el año 2025 se maneja un crecimiento de 29.7% para el plan de mediano plazo en el año 2030 se previsión estipula un crecimiento de 30.1% y para el periodo final un crecimiento de 44.6%. Actualmente no existe otro estudio para la verificación de datos.

Tabla 18 Previsión de luminarias por cantón

PREVISIÓN DE LUMINARIAS POR CANTON				
CANTON	2020	2025	2030	2040
LA MANA	4257	6151	8420	12819
LATACUNGA	26922	34807	44971	64797
PANGUA	1682	2159	2895	4236
PUJILI	7864	10250	13275	19070
SALCEDO	6915	8801	11541	16748
SAQUISILI	3136	3936	5104	7346
SIGCHOS	1293	1412	1617	1958
TOTAL	52069	67516	87823	126974
TOTAL INCREMENTO %	0%	29.7%	30.1%	44.6%

Fuente: Realizado por postulantes

Una vez determinado el escenario base con los diferentes tipos de escenarios se dará paso al escenario No.1 que se detalla a continuación:

3.1.3 Escenario prospectivo de alumbrado público en la Provincia de Cotopaxi

En este punto se presentan los resultados de la proyección de la matriz desde el año 2012 a 2020, con la finalidad de establecer escenarios favorables a la dotación de alumbrado público, como también los posibles ahorros energéticos por la implementación de proyectos de telegestión.

En la Fig. 27 se establece 3 diferentes prospectivas, la línea azul ubicada desde el rango 2012-2020 representa el crecimiento del AP general de Cotopaxi, a partir del año 2021 existe una bifurcación de 3 tendencias que se representan por líneas, una previsión normal (línea ploma), superior (línea azul) e inferior línea (roja).

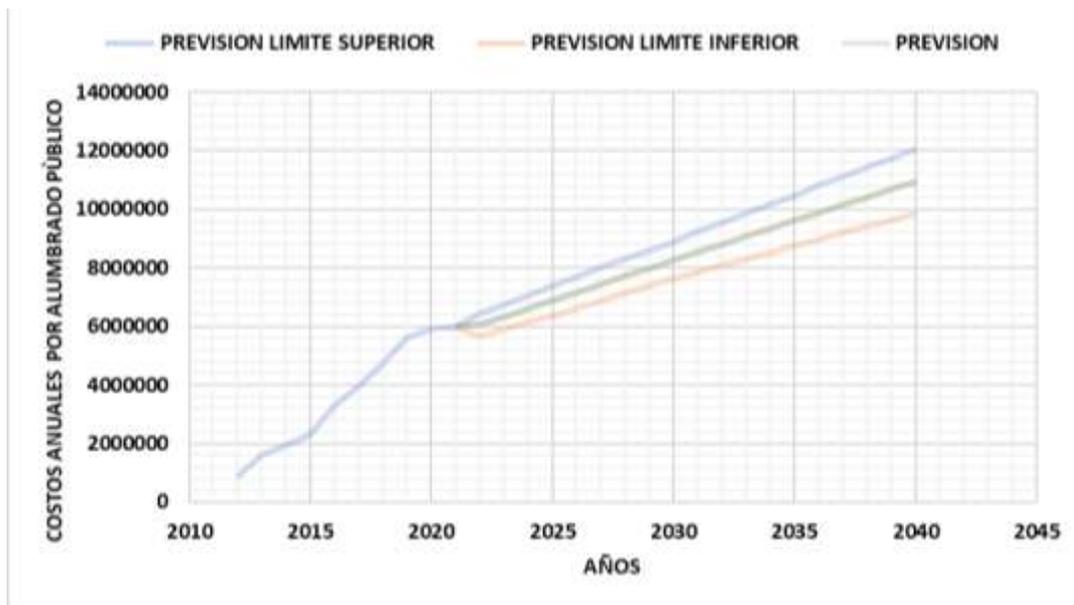


Fig. 28 Prospectiva de Alumbrado Público en Provincia de Cotacachi

Fuente: Realizado por postulantes

En la Fig. 29, se observan puntos rojos que representa luminarias y en el lado derecho puntos amarillos que representa medidores de Energía, datos extraídos del Software ArcGIS con actualización de base al mes de marzo del 2021, esto permite conocer el área que abarca el alumbrado público que en relación s medidores de energía es muy inferior, por lo que las proyecciones no serían exageradas, debido que existen varios sectores en áreas rurales

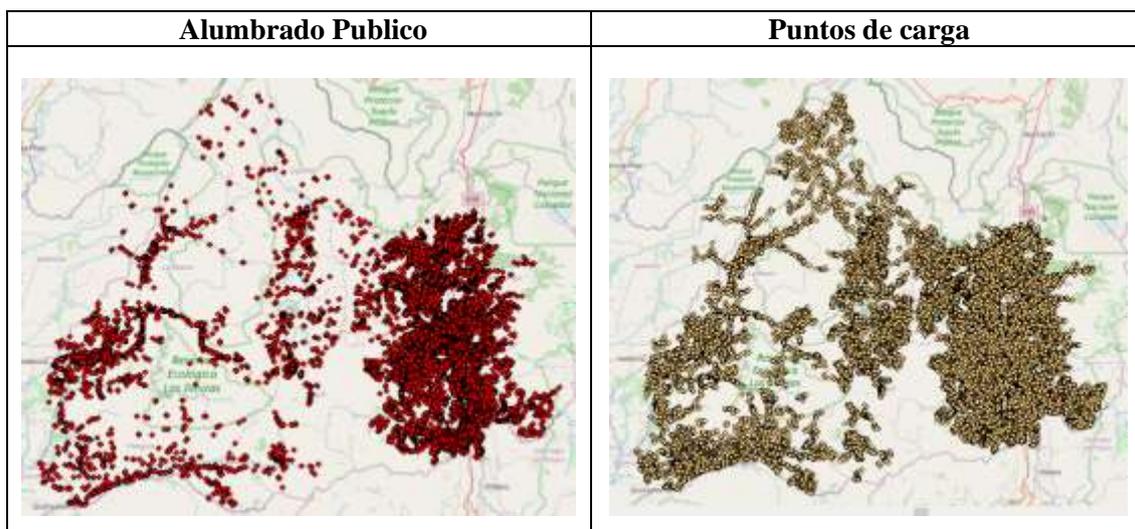


Fig. 29 Comparativa de puntos de iluminación vs puntos de carga.

Fuente: Realizado por postulantes

En el capítulo 2, literal 2.7.2 se establece los diferentes tipos de proyecciones con tendencia normal, límite superior e inferior valores a ser llenados en la tabla 26, donde se pude ingresar valores de 1 a 3, siendo previsión normal equivalente a 1, previsión límite

inferior igual a 2 y previsión límite superior igual a 3, valores que varían dependiendo el criterio del proyectista.

Tabla 19 Parámetros de previsión

CANTON	LED	Sodio	Tasa de confiabilidad
LA MANA	1	3	0.95
LATACUNGA	1	1	0.95
PANGUA	1	3	0.95
PUJILI	1	1	0.95
SALCEDO	1	1	0.95
SAQUISILI	1	3	0.95
SIGCHOS	1	3	0.95

Fuente: Realizado por postulantes

En la tabla 19 no se considera los parámetros de crecimiento para luminarias de mercurio, debido que estas deben ser reemplazadas, además se observa cantones con previsión superior, este criterio es seleccionado de acuerdo con datos extraídos del Software ArcGIS donde se evidencia la falta de iluminación en el sector rural, debido que existen medidores de energía (viviendas) y en vías aledañas no existe alumbrado público, siendo necesario su dotación. Ver anexo 2 donde se representa las curvas de proyección.

3.1.4 Escenario No.1 Sustitución de lámparas de mercurio

En cumplimiento a lo indicado en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público”, se establece una prospectiva general considerando tecnologías como Sodio y LED, descartando el crecimiento y sustituyendo lámparas de mercurio.

Cómo se detalla en la tabla 12 Prospectiva de lámparas de mercurio, que no presenta un crecimiento y es necesario su reemplazo en un periodo de corto plazo de 5 años, en el cantón más representativo en los primeros años y los cantones de menor demanda al final del periodo.



Fig. 30 Ahorro energético por Cantones

Fuente: Realizado por postulantes

Una vez ejecutado el plan de mejoramiento, se establece un ahorro energético anual del 0.89%, correspondiente a 353,523 MW-h año, representando un ahorro económico de 32.170 USD-año por concepto de cambio de 3772 lámparas de mercurio como se detalla en la tabla 18.

En la Fig. 30 se observa que el cantón Latacunga al final del periodo de 5 años por concepto de mejoramiento de Alumbrado público (AP) aporta un ahorro energético de 17 mil USD- año, como también que en el cantón Saquisilí no se genera ahorro, debido al ingreso de luminarias de sodio de mayor potencia a las de mercurio.

Tabla 20 Ahorro anual por reemplazo de lámparas de mercurio

Año	kW-h año Mercurio	kW-h año Sodio	Ahorro Anual	Inversión
2021	191438.41	186158.76	\$ 480.45	\$ 43,491.84
2022	1273987.39	1112296.62	\$ 14,640.29	\$ 268,002.56
2023	2094772.67	1817099.94	\$ 25,015.54	\$ 205,464.00
2024	2716743.84	2382982.80	\$ 29,916.67	\$ 153,358.24
2025	2862035.01	2508511.41	\$ 31,527.23	\$ 31,165.00
2026	2862035.01	2508511.41	\$ 31,205.53	
2027	2862035.01	2508511.41	\$ 30,883.82	
2028	2862035.01	2508511.41	\$ 30,562.11	
2029	2862035.01	2508511.41	\$ 30,111.73	
2030	2862035.01	2508511.41	\$ 29,983.04	

Fuente: Realizado por postulantes

Como se observa en la tabla 20 el ahorro en el año 2021 es muy bajo debido que se sustituyen muy pocas lámparas, pero al final del periodo se registra un ahorro equivalente a 31 mil USD-año por un concepto de reemplazo de 3772 lámparas de mercurio con una inversión total de 701.481.64 USD, las inversiones parciales varían dependiendo de la cantidad de luminarias a reemplazar, además se observa que el a partir del año 6 existe un decrecimiento el mismo que es ocasionado por factor de depreciación donde las lámpara de sodio en un periodo de 6 años, reduce su rendimiento lumínico en un 25%, con una mortalidad de bombillas eléctricas de 33%.

En este punto se realiza una comparación con la cantidad de luminarias instalas hasta el año 2020 sin ningún crecimiento en dotación de alumbrado, siendo esto necesario para establecer los rangos de ahorro económico por pago de alumbrado público.

3.1.5 Escenario No. 2 Ingreso de lámparas LED

Inicialmente partimos de la cantidad de lámparas instaladas con un total de 1495 instaladas equivalente a 2,79% del total, baja esta condición establecemos prospectivas para los diferentes cantones como se indica en el Anexo 3, además se establece proyectos de ingreso de telegestión, los mismo que ingresan al análisis como mejoramiento de AP, y las tendencias de crecimiento se maneja como dotación.

A continuación, se presente un cuadro resumen de las cantidades a manejar por proyecto de mejoramiento.

Tabla 21 Proyectos con telegestión en cantones de Cotopaxi.

ITEM	DESCRIPCION	LDOL90ACC	LDOL120ACC	LDOL220ACC	LDOL300ACC
1	PASO LATERAL LATACUNGA				1634
2	PANAMERICANA BELISARIO QUEVEDO			242	
3	ENTRADA SUR -ELOY ALFARO- MAYORISTA			284	
4	AV. 5 DE JUNIO AL INTERCAMBIADOR			190	
5	AV. MIGUEL ITURRALDE- BELLAVISTA			261	
6	AV. NACIONES UNIDAS		38	90	
7	CENTRO HISTORICOPUJILI	31	200	373	
8	PASO LATERAL PUJILI			144	
9	AV. VELASCO IBARRA		72	255	
10	CENTRO HISTORICO-SALCEDO	144	296	188	
11	CALLE SUCRE-PARQUE CENTRAL	22	80		
12	PANAMERICANA-SALIDA NORTE-TELE			70	
13	AV. JAIME MATA YEROVI-TELE			80	
14	INGRESO SUR SAQUISILI		35	240	
15	PARQUE ECOLOGICO	80			
16	CENTRO HISTORICO	30	22	78	

Fuente: Realizado por postulantes

En la tabla 22 se detalla la cantidad de lámparas LED a ingresar por proyecto, actualmente estos sectores ya cuentan con luminarias, por lo tanto, se plantea el cambio a lámparas LED, con un total de 5179 comprendidas en diversas potencias.

Tabla 22 Potencia instalada Sodio vs LED

	Potencia LED	Potencia Sodio	kW-h año LED	kW-h año Sodio	Ahorro LED
PASO LATERAL LATACUNGA	539220	622227	2361783.6	2725354.26	\$33,084.93
PANAMERICANA BELISARIO QUEVEDO	58564	59629	256510.32	261175.02	\$424.49
ENTRADA SUR -ELOY ALFARO-MAYORISTA	68728	69978	301028.64	306503.64	\$498.23
AV. 5 DE JUNIO AL INTERCAMBIADOR	45980	46816	201392.4	205054.08	\$333.21
AV. MIGUEL ITURRALDE- BELLAVISTA	63162	64310	276649.56	281677.8	\$457.57
AV. NACIONES UNIDAS	26796	28617	117366.48	125342.46	\$725.81
CENTRO HISTORICOPUJILI	119735	129372	524439.3	566649.36	\$3,841.12
PASO LATERAL PUJILI	34848	35482	152634.24	155411.16	\$252.70
AV. VELASCO IBARRA	71214	75036	311917.32	328657.68	\$1,523.37

CENTRO HISTORICO-SALCEDO	98824	113055	432849.12	495180.9	\$5,672.19
CALLE SUCRE-PARQUE CENTRAL	12738	16090	55792.44	70474.2	\$1,336.04
PANAMERICANA-SALIDA NORTE-TELE	16940	17248	74197.2	75546.24	\$122.76
AV. JAIME MATA YEROVI-TELE	19360	19712	84796.8	86338.56	\$140.30
INGRESO SUR SAQUISILI	62700	65069	274626	285002.22	\$944.24
PARQUE ECOLOGICO	7920	9200	34689.6	40296	\$510.18
CENTRO HISTORICO	24750	26398	108405	115623.24	\$656.86
				TOTAL	50,524.00

Fuente: Realizado por postulantes

Inicialmente es necesario la justificación por ahorro energético y/o por deterioro de los activos, es así como se cumple la instalación de lámparas LED de menor potencia, con igual o mejor rendimiento a Sodio.

En la tabla 23, se observa la comparación entre potencia instalada Sodio vs LED, donde se establece porcentajes de reducción en un promedio de 16%,

Realizando un análisis unitario, con un tiempo de operación diaria de 12 horas, se presentan los siguientes resultados:

Tabla 23 Ahorro unitario diario de lámpara LED.

LÁMPARA SODIO	LÁMPARA LED	CANTIDAD	FU	COSTO USD SODIO	COSTO USD LED	AHORRO USD
100	90	1	0.5 \$	0.13 \$	0.11 \$	0.02 \$
150	120	1	0.5 \$	0.19 \$	0.14 \$	0.04 \$
250	220	1	0.5 \$	0.31 \$	0.26 \$	0.03 \$
400	300	1	0.5 \$	0.49 \$	0.36 \$	0.06 \$

Fuente: Realizado por postulantes

Como se observa en la tabla 30, un ahorro mínimo de 2 ctv., en grandes cantidades representa un valor acumulado, al implementar en la totalidad los proyectos de mejoramiento a LED, se generar un ahorro de \$ 50,504.00 por año.

3.1.6 Escenario No. 3 Ingreso de lámparas LED- Telegestión-FU

En este punto se establece periodos de ingreso de proyectos de mejoramiento de Alumbrado público, que consiste en retirar lámparas de sodio e instalar LED con telegestión, los proyectos de estudio se detallan en el Anexo 2.

Además, se maneja el factor de utilización, el mismo que difiere para lámparas LED a continuación se detalla el parámetro Fu.

Para el caso de Salcedo Av. Jaime Yerovi Mata, donde ya se encuentra instalado lámparas LED se establece rangos de operación y niveles de iluminación. A continuación, se presenta el control de iluminación para el proyecto.

Debido que Av. Jaime Yevori Mata, es una avenida de alta afluencia vehicular, debido a ser el ingreso Sur de Ciudad de Salcedo, se establece los siguientes ajustes de operación:

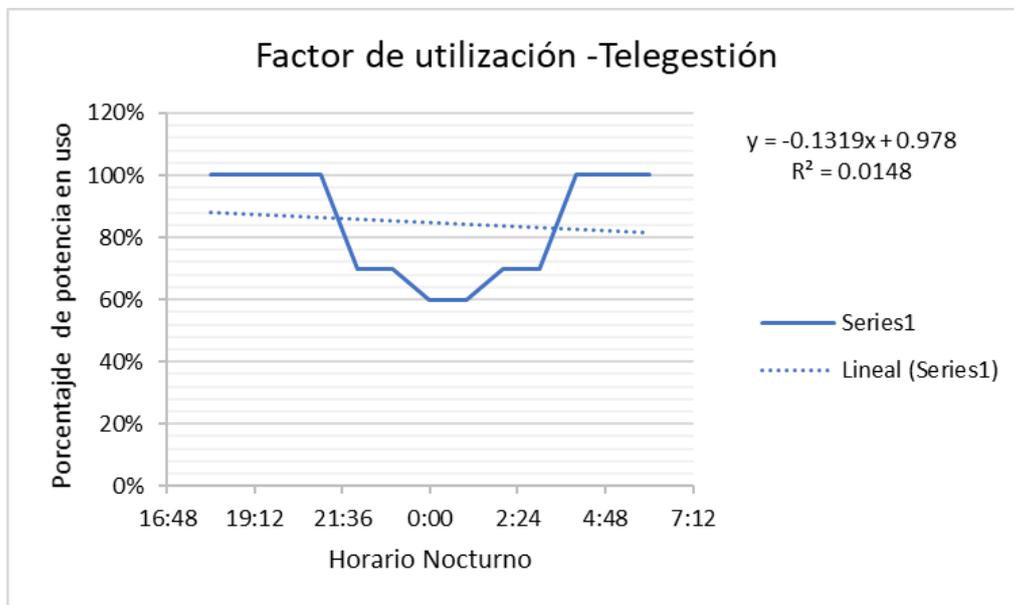


Fig. 31 Factor de Utilización -Telegestión
Fuente: Realizado por postulantes

Máxima potencia de operación en el horario de 18:00 -21:00h, con flujo luminoso a máxima intensidad, paulatina mente se reduce la potencia de operación en un 30% hasta las 22:00h y desde 23:00-2:00 am se reduce en un 40% la potencia de la lámpara, paulatinamente desde las 3:00 am se incrementa un 10% y finalmente se incrementa el 30% restante desde las 4:00-6:00 am, el esquema de control se ve reflejado en la Fig. 26, se puede establecer nuevas curvas de operación, las mismas que dependen del proyectista, se ha observado casos que en horarios de 23:00 a 3:00 reducen la potencia de la lámpara en un 80%.

Finalmente, la curva de reducción de potencia se la interpreta como una línea recta, que permite calcular el valor de $F_u = 0.975 / 2.4 = 0.408$, cada proyecto de telegestión es independiente por lo tanto el valor de F_u será distinto o semejante según la configuración de control. Para mayor detalle ver Anexo 5

Se realiza el ingreso de proyectos de bajo riesgo desde el año 2022 hasta el año 2025, paulatinamente ingresan proyectos de alto impacto. Una vez que se completa el ingreso se genera el siguiente cuadro resumen:

Tabla 24 Proyectos planteados para Cotopaxi.

ITEM	PROYECTOS	CANTON	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	PUJILI	2025	1	1	0.42
8	PASO LATERAL PUJILI	PUJILI	2026	1	1	0.39
9	CENTRO HISTORICO-SALCEDO	SALCEDO	2024	1	1	0.32
10	CALLE SUCRE-PARQUE CENTRAL	SALCEDO	2026	1	1	0.38
11	CENTRO HISTORICOPUJILI	PUJILI	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 SAQUISILI	SAQUISILI	2024	1	1	0.398
15	PARQUE ECOLOGICO	SAQUISILI	2024	1	1	0.398
16	CENTRO HISTORICO	SAQUISILI	2024	1	1	0.4

Fuente: Realizado por postulantes

En la Fig. 31 se observa los consumos entre diferentes tecnologías de alumbrado, la curva celeste representa el consumo de lámpara de sodio, la curva azul indica el consumo de lámparas LED y finalmente la línea naranja representa el consumo de lámparas LED y Telegestión. Estos consumos se han calculado tomando en cuenta la Fig. 11, en la cual se ilustra el factor de utilización resultante al tomar cada proyecto y aplicarle una reducción programada de la luminosidad a determinadas horas del día mediante un sistema de bandas.

En la Fig. 32 se observa un gráfico de barras donde el color naranja representa el costo por concepto de consumo con tecnología LED y la franja gris, representa el ahorro con comparativa a la tecnología de Sodio.

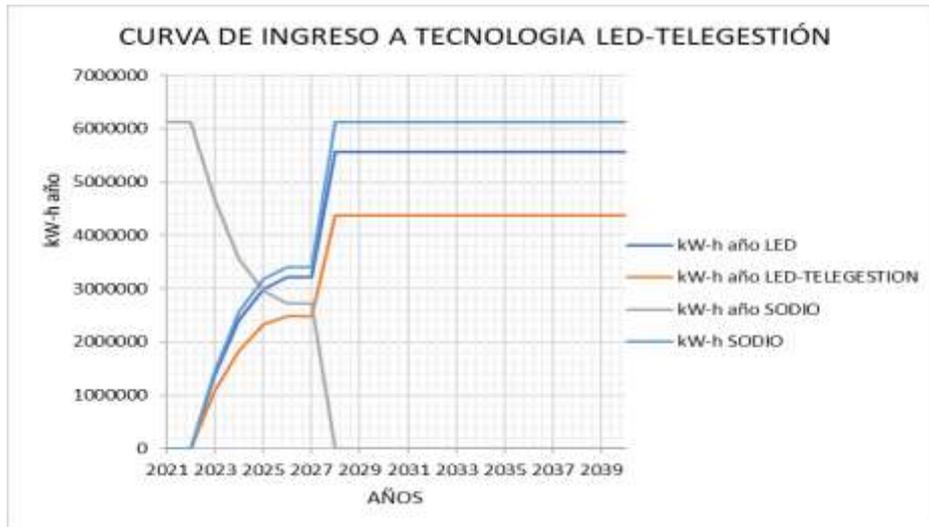


Fig. 32 Comparativa de Consumos entre luminaria Sodio, LED y Telegestión

Fuente: Realizado por postulantes

En la Fig. 33 se observa los ahorros energéticos de color plomo y



Fig. 33 Ahorro energético por implementación LED -Telegestión

Fuente: Realizado por postulantes

3.1.7 Escenario No. 4 Ingreso de lámparas LED- Telegestión con análisis de afluencia peatonal y vehicular.

De acuerdo a las ecuaciones desarrolladas en el capítulo 2, 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 muestran en el anexo 3.

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 22, podemos definir los siguientes resultados:

En la Fig. 34 se muestra los consumos individuales de cada tecnología en base al año de implementación mostrado en la tabla 24, existen representados dos consumos al momento de analizar la telegestión, esto se debe a las funciones de movilidad, y obviamente, en el modelo de Matlab ya está considerado, que tipo de zona abarca cada proyecto y también cual es el porcentaje de atenuación máximo para cada lámpara, aun así, se consideran dos escenarios, y esto se debe a que las funciones consideran un porcentaje de aparición de vehículos y personas.

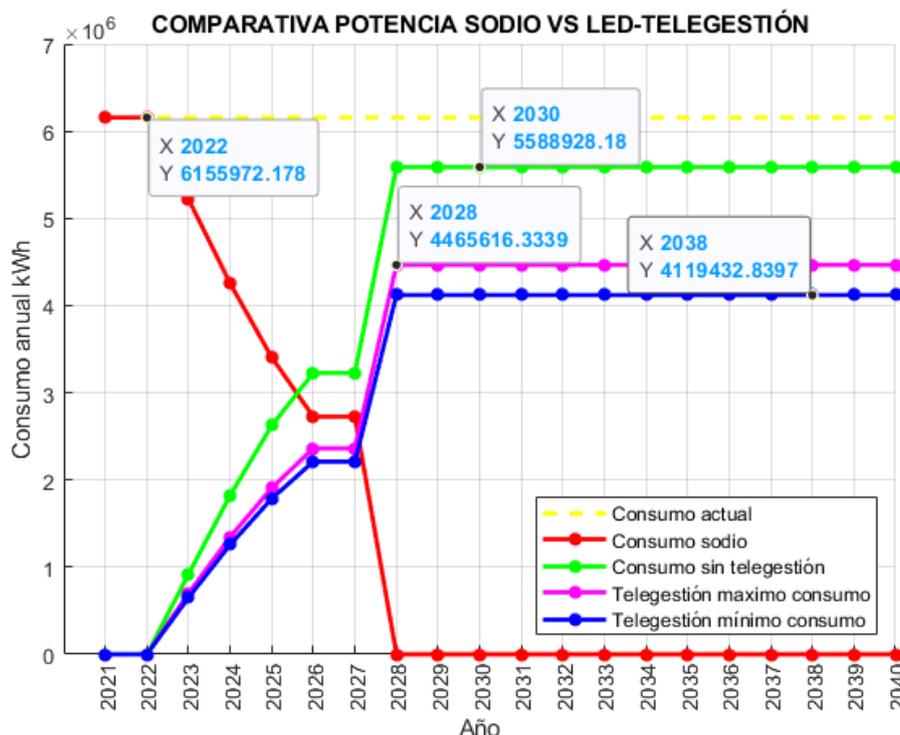


Fig. 34 Consumos individuales por ingreso de LED-telegestión

Fuente: Realizado por los postulantes

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.

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.

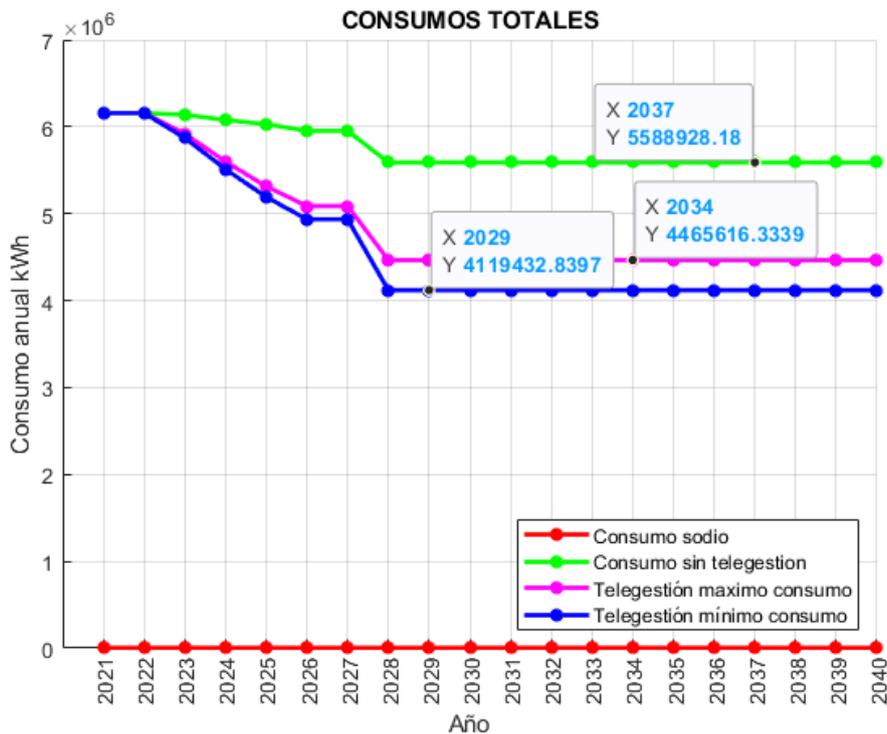


Fig. 35 Consumos totales por ingreso de LED-telegestión

Fuente: Realizado por postulantes

Si se compara la Fig. 32 y la Fig. 34, es evidente que los consumos estimados con las ecuaciones planteadas en el capítulo 2 son similares al sistema de bandas planteado en la Fig. 11, sistema que actualmente es utilizado para programar las lámparas tomando en cuenta la afluencia de personas y el sector donde estas estén ubicadas, pero sin hacer un censo adecuado y únicamente tomando de base la experticia del personal encargado de las instalaciones.

La Fig. 35 se presenta un consumo total después de la implementación detallada en la tabla 24 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.

Como se muestra en la Fig. 31, 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.

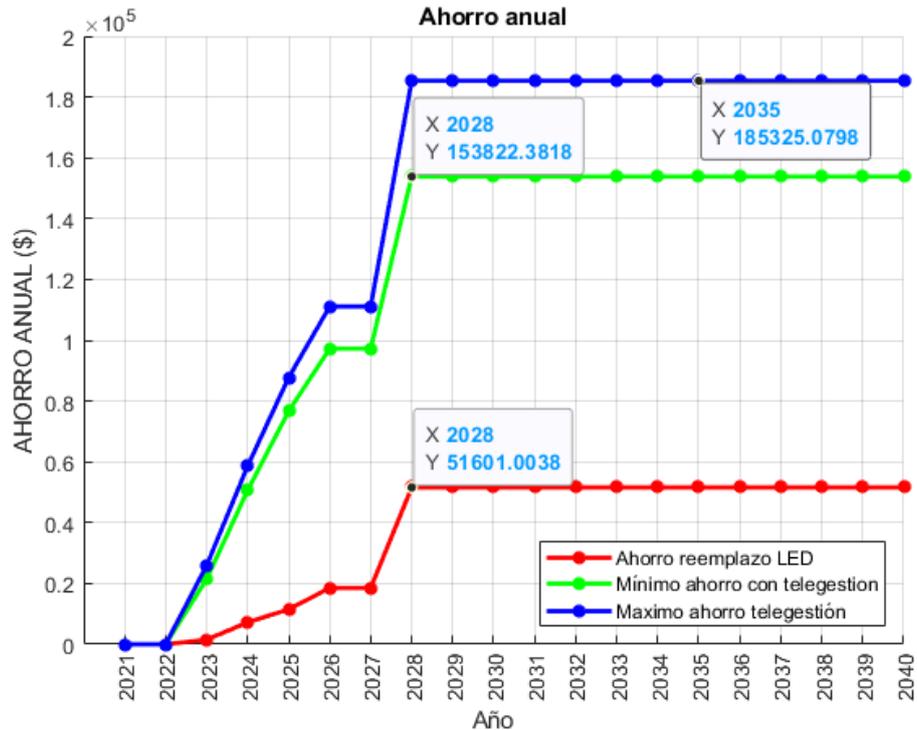


Fig. 36 Ahorro anual aplicado al modelo teórico

Fuente: Realizado por los postulantes

La Fig. 36 representa un ahorro expresado en dólares considerando las sustituciones detalladas en la tabla 24, 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.

Tabla 25 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

Fuente: Realizado por postulantes

La tabla 25 muestra un resumen de los consumos mostrados en la Fig. 29, 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.

Tabla 26 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%

Fuente: Realizado por postulantes

La tabla 26 muestra un resumen de la Fig. 30, 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 26 que presenta una comparación entre el consumo de las lámparas de sodio presentadas en la tabla 24 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.

3.2 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 el capítulo 2, se puede evaluar un escenario a corto, mediano y largo plazo para determinar si un proyecto es rentable, para los proyectos presentados en la tabla 31, la Fig. 32 muestra una comparación entre la migración a tecnología LED y el costo adicional que se debe invertir para tener un sistema con telegestión.

La Fig. 32 muestra los costos de implementación de cada proyecto, la franja azul es el costo de implementación de luminarias LED consideradas en la tabla 24, 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.

En la tabla 27 se detalla el posible ahorro al implementar los proyectos de la tabla 36, 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.

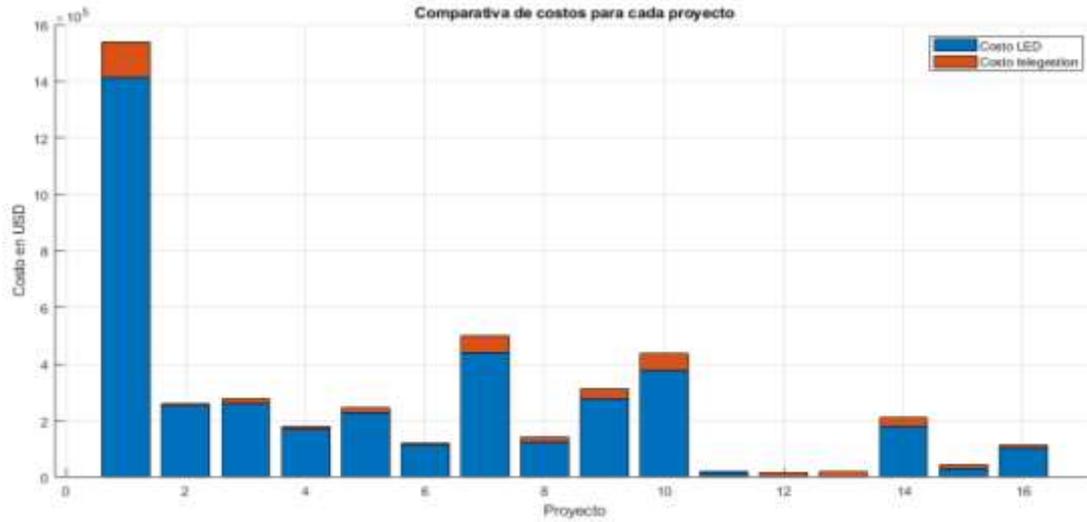


Fig. 37 Comparativa de implementación LED y telegestión

Fuente: Realizado por postulantes

La Herramienta de cálculo maneja 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.

Tabla 27 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%
----	-------------	------------	------------	------------	-------	-------	-------

Fuente: Realizado por postulantes

En la tabla 27 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, el anexo 6 detalla los costos de implementación para los proyectos estudiados y detallados en la tabla 24, 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 el capítulo 2, la telegestión tiene un gran impacto en los consumos generales.

3.2.1 Valoración económica financiera

Para determinar la valoración económica financiero se utilizó como tasa de actualización de proyectos (Tasa de descuento), el costo promedio ponderado de capital (WACC) la misma que presenta un valor de 5,5%. Los costos de inversión de cada proyecto (16), consideran materiales y mano de obra tanto para alumbrado como para telegestión. La vida útil de la inversión es de 25 años, existe una tasa de crecimiento de los costos ahorrados de 3,5%.

Tabla 28 Resumen económico financiero

No proyecto	VAN	TIR	RBC
1	\$ 349.780,82	7,83%	\$ 1,28
2	\$ -32.557,88	3,44%	\$ 0,78
3	\$ -7.299,56	5,15%	\$ 0,96
4	\$ -13.181,00	4,53%	\$ 0,89
5	\$ -13.628,93	4,80%	\$ 0,92
6	\$ -18.630,66	3,62%	\$ 0,80
7	\$ -21.845,54	4,98%	\$ 0,94
8	\$ -19.857,54	3,03%	\$ 0,74
9	\$ 173.783,01	50,79%	\$ 8,99
10	\$ 274.092,51	82,60%	\$ 15,04
11	\$ 7.836,11	5,68%	\$ 1,02
12	\$ -27.553,18	3,04%	\$ 0,74
13	\$ -212.450,13	-6,49%	\$ 0,16
14	\$ -68.858,44	2,53%	\$ 0,69
15	\$ -13.032,15	2,53%	\$ 0,69
16	\$ -16.631,19	3,86%	\$ 0,82

Fuente: Realizado por postulantes

El Valor Actual Neto (VAN) trae a valor presente los valores proyectados, en este caso los costos ahorrados en consumo de energía. Su fórmula es la siguiente:

$$VAN = \frac{\text{Costo Ahorro 1}}{(1 + i)} + \frac{\text{Costo Ahorro 2}}{(1 + i)^2} + \dots + \frac{\text{Costo Ahorro } n}{(1 + i)^n} - I_0$$

Ec. 6 Valor actual neto

Donde:

i= Tasa de descuento

Costo ahorro 1= costos ahorrados en el año 1.

Como puede observarse, el proyecto 1, 9, 10 y 11 presentan valores positivos en el valor actual neto, lo que representa que se recupera la inversión a pesar de ser un beneficio social y considerando que la vida útil de la inversión puede durar más de 25 años.

Para el cálculo de **Tasa Interna de Retorno (TIR)**, se presenta resultados iguales es decir los proyectos 1, 9, 10,11 presentan resultados mayores a la tasa de descuento del 5,50%, lo que representa que estos proyectos son rentables y que se recupera la inversión en vida útil del proyecto, es decir que la rentabilidad es mayor al costo de financiamiento. En el caso del proyecto 1, la TIR es de 7,83% frente a 5,5% de costo de inversión (WACC). La regla de decisión es: si la TIR > WACC entonces el proyecto es factible financieramente.

La Relación Beneficio (RBC) costo mide el retorno en términos monetarios de la inversión, su fórmula es dividir el valor actual de los costos ahorrados sobre la inversión en términos absolutos.

$$RBC = \frac{\text{Valor actual}}{|\text{Inversión}|}$$

Ec. 7 Relación beneficio

En el caso del proyecto 1: por cada dólar invertido existe un retorno del \$1,28; es decir se recupera el dólar invertido y además genera un rendimiento de 28 centavos de dólar.

3.3 Evaluación de expertos

El desarrollo del presente estudio cuenta con la evaluación de expertos en cada instancia del desarrollo, a continuación, se detalla la evaluación de expertos:

Msc. Álvaro Cevallos,

- Validación de la base de datos en ArcGIS.

- Validación de la correcta depuración de datos para ser usada en el presente estudio

Msc. Antonio Flores,

- Validación de la Herramienta del cálculo del consumo de lámparas LED con implementación de Telegestión mediante afluencia peatonal y/o vehicular.

Econ. Marco Veloz,

- Validación del uso del Método de Holt Winters para la estimación y cálculo de la previsión del crecimiento del alumbrado público en la provincia de Cotopaxi.
- Validación de la herramienta de cálculo para determinar el consumo de una lámpara LED, mediante econometría.
- Validación y evaluación financiera para el ingreso de proyectos de iluminación LED con implementación de telegestión.

3.4 Evaluación de Impactos

3.4.1 Balance energético plan 2 y 3.

Inicialmente se establece la incidencia de la telegestión en la matriz energética en el periodo corto, mediano y largo plazo para el sector de alumbrado público de la provincia de Cotopaxi, en la tabla 27 se presenta el balance energético, mediante el ingreso de telegestión en periodo de corto plazo, se obtiene un ahorro de 2.76%, debido a la dotación de AP en el Plan a medio plazo se reduce el ahorro energético a 2.32% y finalmente en el plan a largo plazo en el año 2040 se presenta un ahorro de 1.67%.

Tabla 29 Balance energético de LED-Telegestión en Cotopaxi

PLAZO	AÑOS	kW-h-Año-PROS	kW-h-año-PROS-LED	kW-h-Año-PROS-LED-TELE	Ahorro-kW-h-Año-LED	Ahorro-kW-h-año-LED-Tele
CORTO	2025	48,441,208.79	47,903,461.54	47,102,659.34	1.11%	2.76%
MEDIO	2030	60,463,747.25	59,908,538.46	59,060,769.23	0.92%	2.32%
LARGO	2040	84,109,813.19	83,554,615.38	82,706,846.15	0.66%	1.67%

Fuente: Realizado por los postulantes

3.4.2 Balance energético plan 1,2 y 3.

En la Fig. 32 se presenta el crecimiento de alumbrado público en Cotopaxi, con una proyección a 20 años, donde la línea azul representa la previsión general, línea naranja previsión con mejoramiento de alumbrado con tecnología LED y finalmente la línea celeste representa la previsión de alumbrado con la implementación de lámparas LED con Telegestión.



Fig. 38 Prospectiva de alumbrado público con telegestión en el periodo 2021-2040.

Fuente: realizado por los postulantes

Visual mente se observa un ahorro energético que será directamente proporcional al ahorro económico por concepto de ingreso de tecnología LED y telegestión. En la tabla 28 se indica los porcentajes de ahorros en los diferentes escenarios de estudio.

Tabla 30 Balance energético de Mejoramiento AP-Telegestión en Cotopaxi

PLAZO	AÑOS	kW-h-Año-PROS	kW-h-año-PROS-LED	kW-h-Año-PROS-LED-TELE	Ahorro-kW-h-Año-LED	Ahorro-kW-h-año-LED-Tele
CORTO	2025	48,441,208.79	46,728,098.90	45,927,296.70	3.54%	5.19%
MEDIO	2030	60,463,747.25	58,711,978.02	57,864,208.79	2.90%	4.30%
LARGO	2040	84,109,813.19	82,358,054.95	81,510,285.71	2.08%	3.09%

Fuente: Realizado por los postulantes

En el plan de corto plazo para el año 2025, un mejoramiento a tecnología LED representa un 3.54% mientras que al realizar un ingreso LED-Telegestión representa un ahorro energético de 5.19%. Para el plan a mediano plazo, el ahorro es de 2.9% y 4.30% respectivamente donde los ahorros energéticos disminuyen debido que ya no existe mejoramientos a LED y continua la dotación de alumbrado público en sus diversas tecnologías de acuerdo con las diferentes tendencias de proyecciones seleccionadas anteriormente. Finalmente, para el plan de largo plazo, se observa una reducción tanto en ahorro energético LED como con el ingreso de telegestión LED a valores de 2.08% y 3.09%, de igual manera se debe a la dotación de alumbrado público a nivel provincial.

CONCLUSIONES GENERALES

Al analizar la matriz energética actual de Cotopaxi, se obtuvo varios puntos de mejora que se describen a continuación:

- 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.
- 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.
- 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.
- Los proyectos 1, 9, 10,11 presentan resultados mayores a la tasa de descuento del 5,50%, lo que representa que estos proyectos son rentables y que se recupera la inversión en vida útil del proyecto, es decir que la rentabilidad es mayor al costo de financiamiento.

RECOMENDACIONES

- Para establecer las previsiones por cantones se debe manejar una base de datos histórica actualizada, debido que es un requisito para aplicar el modelo de Holt Winters.
- Para el cálculo de energía consumida, en equipos de doble potencia, considerar 5.5 horas a potencia nominal y 6.5 horas a 60% de su potencia nominal, además considerar las perdidas en los equipos auxiliares.

- En el caso de aplicación de la herramienta de cálculo en función a la probabilidad de circulación de peatones o vehículos, se debe tomar en cuenta el crecimiento poblacional y la demografía del lugar donde se quiera replicar el análisis, ya que, al pasar el tiempo, las zonas tipificadas cambiarán de denominación y su comportamiento de la movilidad.
- El análisis económico – financiero demuestran que varios proyectos no son rentables, ya que su ahorro no compensa la inversión para su ejecución, aun así, se recomienda valorar el beneficio a favor de la comunidad para considerar su ejecución.
- En el caso de la valoración económica usando el modelo teórico se recomienda usar el escenario de mínimo ahorro (máximo consumo) y tomar en cuenta el peor escenario posible para su validación.
- Para continuar el presente estudio considerar nuevos sistemas de control y/o comunicación que permitan disminuir costos de operación y mejorar el análisis financiero de proyectos a implementar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] M. d. E. y. R. N. n. Renovables, «Plan Maestro de Electricidad,» vol. II, p. 100, 2019.
- [2] CONELEC, Regulación-No.-CONELEC-005_14-Prestación-APG, QUITO: CONELEC, 2018.
- [3] C. d. Ecuador, CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, Quito, 2008.
- [4] P. D. Gonzales Loaiza, "Telegestión del alumbrado público con tecnología LED", Loja-Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 2014.
- [5] A. Tama Franco, La revolucion del alumbrado publico, Quito: ESPOL, 2012.
- [6] R. . O. Flores Lora, 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, 2018.
- [7] A. Rodriguez, TELEGESTIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO INTELIGENTE PARA EL PARQUE METROPOLITANO EL TUNAL UBICADO EN LA CIUDAD DE BOGOTA, BOGOTA: UNIVERSIDAD DE LA SALLE, 2016.
- [8] C. Pérez, Econometria de las Series Temporales, PRENTICE-HALL, 2006.
- [9] C. Esparza Catalán, Series Temporales, CSIC, 2018.
- [10] C. N. d. Electricidad, Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental, Quito: CONELEC, 2016.
- [11] M. D. I. Y. P. S. D. L. CALIDAD, REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”, Quito, 2012.
- [12] J. A. Rueda Flores, 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, 2020.
- [13] ARCONEL, Regulación Nro. 054/2018, Quito, 2018.
- [14] H. Acuña y I. Konow, Métodos y Técnicas de investigación prospectiva para la toma de decisiones, Chile: FUNTURO, 1990.
- [15] T. Miklos, Planeación prospectiva y estratégica, Mexico: Reduaz, 2015.

- [16] Ministerio de Turismo, «MOVIMIENTOS INTERNOS: GEOVIT,» 19 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://servicios.turismo.gob.ec/boletin-coyuntural-de-alojamiento/8-turismo-en-cifras/movimientos-internos-geovit/289>. [Último acceso: 19 Marzo 2021].
- [17] J. C. y. Ocerin, Econometría: Modelos econométricos y series temporales, Barcelona : REVERTÉ S.A., 2012.

ANEXOS

Anexo 1. Detalle de la infraestructura del alumbrado público en 2021

Tabla 31 Infraestructura de alumbrado público Cantón Pangua.

PARROQUIA	LED	Mercurio Abierta	Mercurio Cerrada	Proyector Mercurio	Proyector Sodio	Sodio Abierta	Sodio Cerrada	Total General
EL CORAZON		10	6		21	4	541	582
MORASPUNGO	3	47	2	5	21	17	916	1011
PINLLOPATA		7	1				75	83
RAMON CAMPAÑA		1			2	5	64	72
TOTAL	3	63	3	5	41	22	1540	1748

Tabla 32 Infraestructura de alumbrado público Cantón La Mana.

PARROQUIA	LED	Mercurio Abierta	Mercurio Cerrada	Proyector Mercurio	Proyector Sodio	Sodio Abierta	Sodio Cerrada	Total, General
11 DE NOVIEMBRE		2	5		8	10	819	844
ALAQUES		109	71	1	1	1	955	1138
BELISARIO QUEVEDO		25	4			3	1079	1111
GUAITACAMA	10	29	47		23		1578	1687
JOSEGUANGO		30			1		455	486
BAJO		30			1		455	486
LATACUNGA	1011	333	999	66	135	112	13628	16284
MULALO		73		4	1		787	865
POALO		29	4		9		792	834
SAN JUAN DE PASTOCALLE		27	2		2		1022	1053
TANICUCHI		90	11	1	17		2070	2189
TOACASO		15					892	907
TOTAL	1021	762	1143	72	197	126	24077	27398

Tabla 33 Infraestructura de alumbrado público Cantón Pujilí

PARROQUIA	LED	Mercurio Abierta	Mercurio Cerrada	Proyector Mercurio	Proyector Sodio	Sodio Abierta	Sodio Cerrada	Total General
ANGAMARCA		59		7	6		191	263
GUANGAJE							119	119
LA VICTORIA		1	64	2		15	573	655
PILALO							277	277
PUJILI	73	188	362	34	90	37	4730	5514
TINGO		41	4	6			639	690
ZUMBAHUA		14	71		9		597	691
TOTAL	73	303	501	49	105	52	7126	8209

Tabla 34 Infraestructura de alumbrado público Cantón Salcedo

PARROQUIA	LED	Mercurio Abierta	Mercurio Cerrada	Proyector Mercurio	Proyector Sodio	Sodio Abierta	Sodio Cerrada	Total General
ANTONIO JOSE HOLGUIN		6					535	541
CUSUBAMBA		53					474	527
MULALILLO		26	2		1		547	576
MULLIQUINDIL		27	4		4	8	650	693
PANSALEO		21	1				519	541
SAN MIGUEL	183	130	183	5	106	10	3736	4353
SAN ANDRES		3					19	22
TOTAL	183	266	190	5	111	18	6480	7253

Tabla 35 Infraestructura de alumbrado público Cantón Saquisilí

PARROQUIA	LED	Mercurio Abierta	Mercurio Cerrada	Proyector Mercurio	Proyector Sodio	Sodio Abierta	Sodio Cerrada	Total General
CANCHAGUA		7	1				686	694
CHANTILIN		3			1		177	181
COCHAPAMBA		3					274	277
SAQUISILÍ		56	75	7	23		1993	2154
TOTAL		69	76	7	24		3129	3305

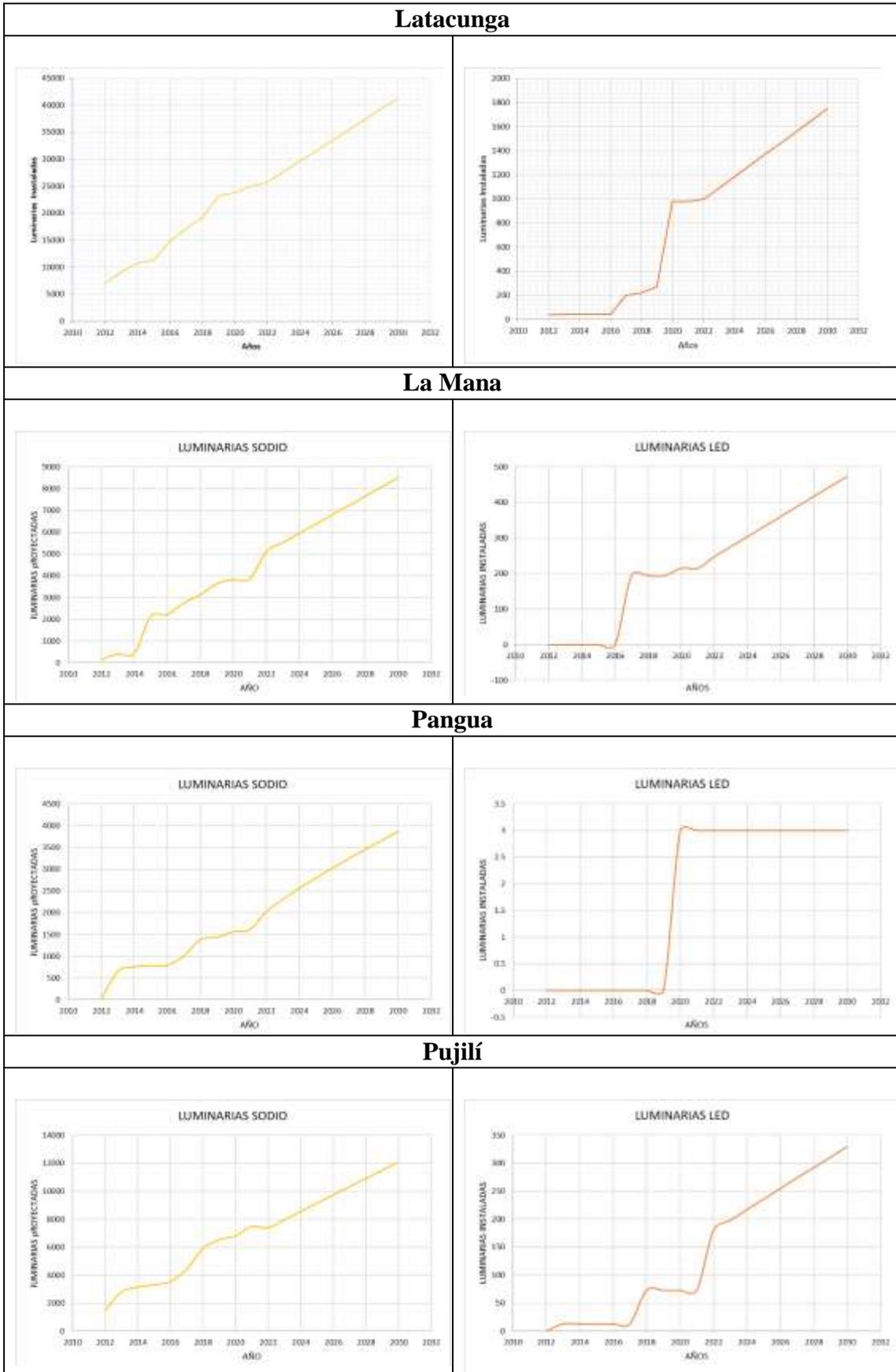
Tabla 36 Infraestructura de alumbrado público Cantón Sigchos

PARROQUIA	LED	Mercurio Abierta	Mercurio Cerrada	Proyector Mercurio	Proyector Sodio	Sodio Abierta	Sodio Cerrada	Total General
CHUGCHILLAN		5			3	1	259	268
ISINLIVI		7					186	193
LAS PAMPAS							8	8
SIGCHOS		30	62	8	23	58	755	936
TOTAL		42	62	8	26	59	1208	1405

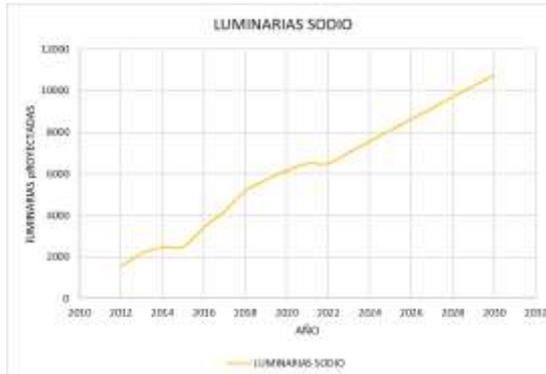
Tabla 37 Infraestructura de alumbrado público Cantón La Mana.

PARROQUIA	LED	Mercurio Abierta	Mercurio Cerrada	Proyector Mercurio	Proyector Sodio	Sodio Abierta	Sodio Cerrada	Total General
GUASAGANDA		30			5		365	400
LA MANA	215	73	12	9	56	84	3218	3667
PUCAYACU		12	6				140	158
TOTAL	215	110	18	9	52	83	3663	4150

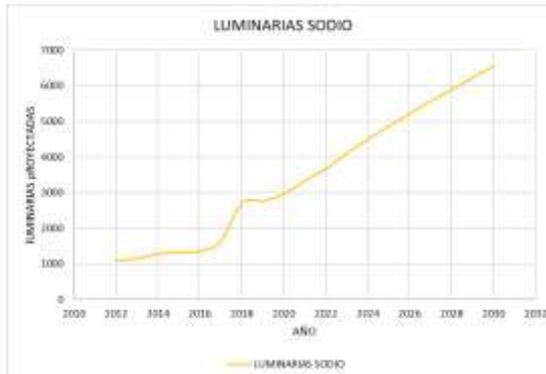
Anexo 2. Curvas prospectivas usadas para caso de análisis.



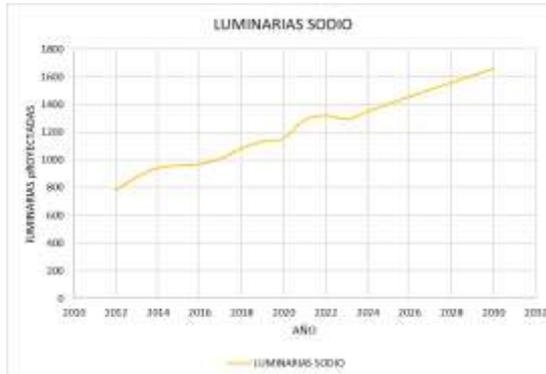
Salcedo



Saquisilí

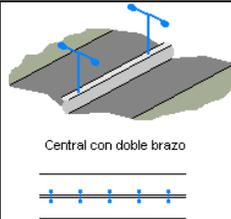
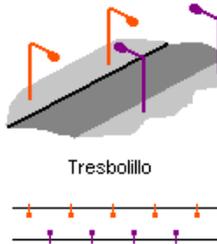


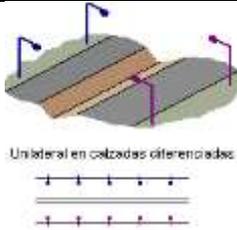
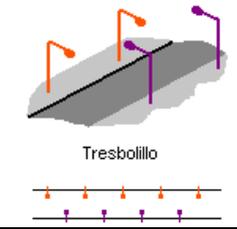
Sigchos

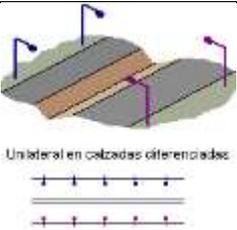


Anexo 3. Resumen de Aspectos Técnicos de proyectos para implementación de telegestión.

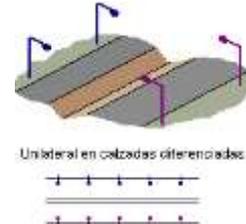
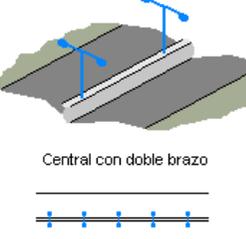
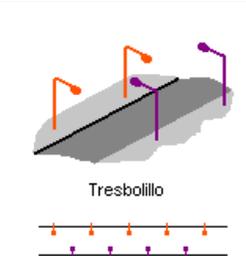
Proyectos Cantón Latacunga.

PASO LATERAL LATACUNGA								
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	LONGITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION	VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]	
1634	250	LDOS250ADC	LDOL240ACC	32,680	CENTRAL CON DOBLE BRAZO	 <p>Central con doble brazo</p>	40	32
PANAMERICANA-BELISARIO QUEVEDO-LATACUNGA								
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	LONGITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION	VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]	
76	250	LDOS250ADC	LDOL220ACC	1.22	TREBOLILLO	 <p>Tresbolillo</p>	32	14
166	250	LDOS250ADC	LDOL220ACC	1.67	CENTRAL CON DOBLE BRAZO	 <p>Central con doble brazo</p>	38	22

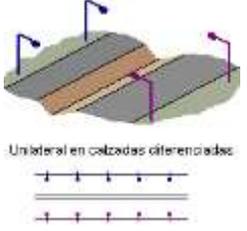
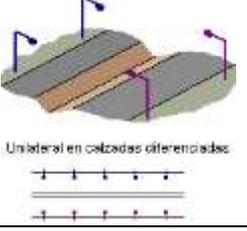
ENTRADA SUR -AVENIDA ELOY ALFARO-MAYORISTA								
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	LONQUITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
212	250	LDOS250ADC	LDOL220ACC	2.3	UNILATERAL EN CALZADAS DIFERENCIALES	 <p>Unilateral en calzadas diferenciales</p>	40	
72	250	LDOS250ADC	LDOL220ACC	2.5	TREBOLILLO	 <p>Tresbolillo</p>	50	

AV. 5 DE JUNIO AL INTERCAMBIADOR DE PUJILI								
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	LONQUITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
190	250	LDOS250ADC	LDOL220ACC	4.41	UNILATERAL EN CALZADAS DIFERENCIALES	 <p>Unilateral en calzadas diferenciales</p>	35	18

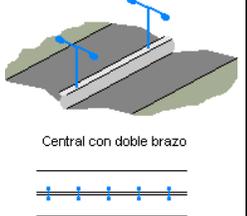
AV. MIGUEL ITURRALDE-GASOLINERA BELLAVISTA

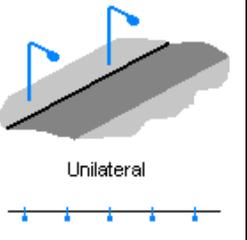
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA A	ESTRUCTURA A LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	LONGITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION	VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
52	250	LDOS250ACC	LDOL220ACC	0.74	UNILATERAL EN CALZADAS DIFERENCIALES 	44	24
74	250	LDOS250ACC	LDOL220ACC	1.26	CENTRAL CON DOBLE BRAZO 	33	22
135	250	LDOS250ACC	LDOL220ACC	4.74	TRESBOLILLO 	46	18

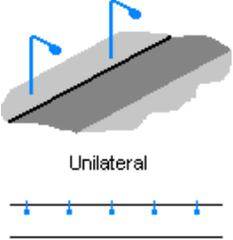
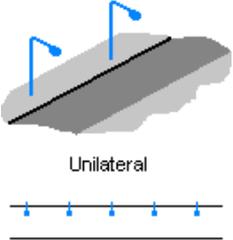
AV. NACIONES UNIDAS

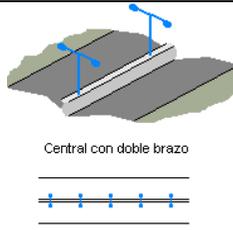
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA A	ESTRUCTURA LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	LONGITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
90	250	LDOS250ADC	LDOL220ACC	1.87	UNILATERAL EN CALZADAS DIFERENCIALES	 <p>Unilateral en calzadas diferenciadas</p>	37	20
38	150	LDOS250ADC	LDOL120ACC	0.48	UNILATERAL EN CALZADAS DIFERENCIALES	 <p>Unilateral en calzadas diferenciadas</p>	40	20

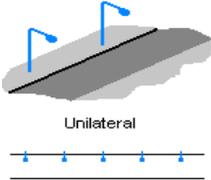
Proyectos Cantón Salcedo.

AV. JAIME MATA YEROVI						
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	TIPO DE INSTALACION	VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
81	220	LDOS250ADC	LDOL220ADC	CENTRAL CON DOBLE BRAZO 	33	26

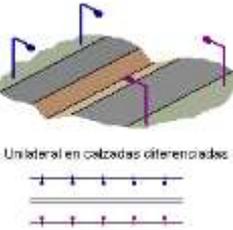
CALLE SUCRE-VIA AL PARQUE						
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	TIPO DE INSTALACION	VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
22	90	LDOS100ACC	LDOL90ACC	UNILATERAL 	25	12

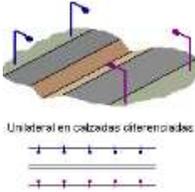
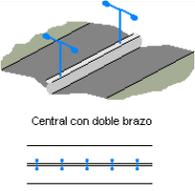
PARQUE CENTRAL-MUNICIPIO							
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
22	90	LDOS100ACC	LDOL90ACC	UNILATERAL		25	12
80	90	LDOS100ACC	LDOL90ACC	UNILATERA		10	10

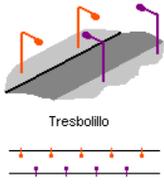
PANAMERICANA-SALIDA NORTE							
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
70	250	LDPS250ACC	LDOL220ACC	CENTRAL CON DOBLE BRAZO		30	24

CENTRO HISTORICO SALCEDO							
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	NUEVAS LÁMPARAS	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
20	70	LDPS70ACC	LDOL90ACC	UNILATERAL	 <p>Unilateral</p>	33	12
124	100	LDPS100ACC	LDOL90ACC			36	12
296	150	LDPS150ACC	LDOL120ACC			36	12
188	250	LDPS250ACC	LDOL220ACC			42	12

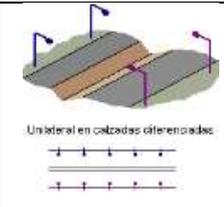
Proyectos Cantón Pujilí

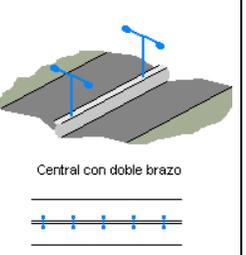
AV. VELASCO IBARRA								
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	AÑO DE INSTALACIÓN	LONGITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
145	250	LDSS250PDC	2014	2.33	UNILATERAL EN CALZADAS DIFERENCIALES	 <p>Unilateral en calzadas diferentes</p>	35	14

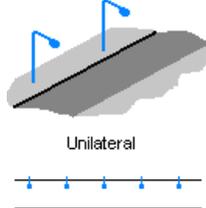
72	150	LDPS150PCC	2014	1.65	UNILATERAL EN CALZADAS DIFERENCIALES		35	24
110	250	LDPS250ACC	2014	2.2	CENTRAL CON DOBLE BRAZO		40	24

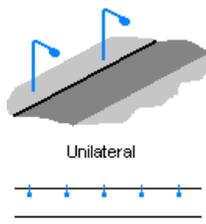
CENTRO HISTORICO PUJILI								
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	AÑO DE INSTALACIÓN	LONGITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION	VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]	
31	125	LDPM125AC C	2013		TREBOLILLO		25	12
200	175	LDPM175AC C	2013		TREBOLILLO		30	12
66	250	LDFM250PC A	2012		TREBOLILLO		32	12
307	250	LDPS250ACC	2013		TREBOLILLO		32	12

AV. PASO LATERAL PUJILI

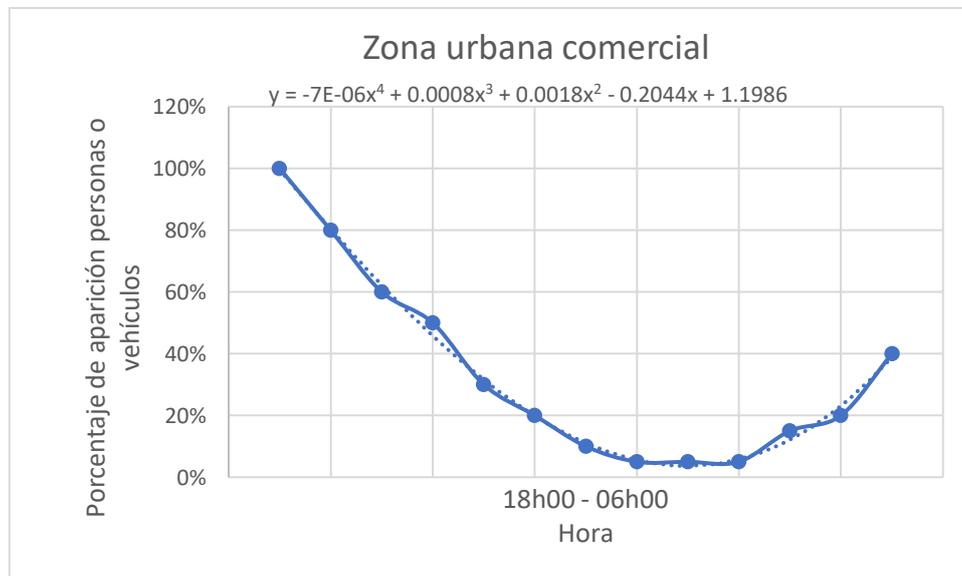
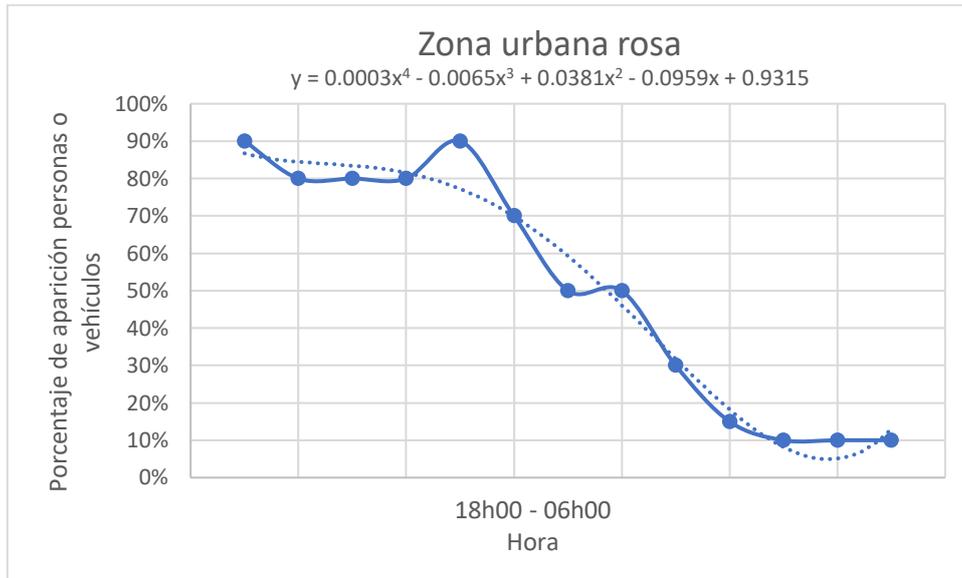
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	AÑO DE INSTALACIÓN	LONGITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
144	250	LDPS250ACC	2014	4	UNILATERAL EN CALZADAS DIFERENCIALES	 <p>Unilateral en calzadas diferenciales</p>	34	16

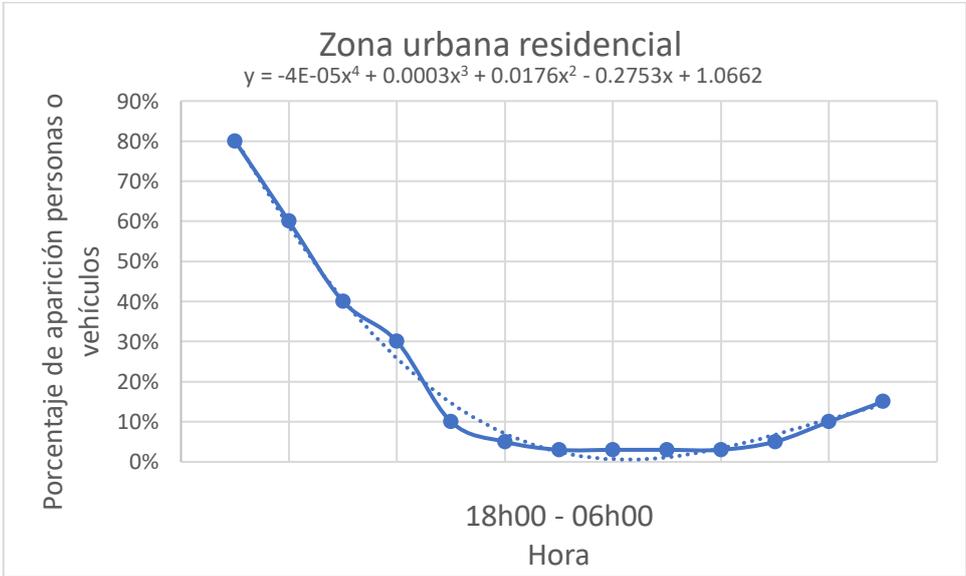
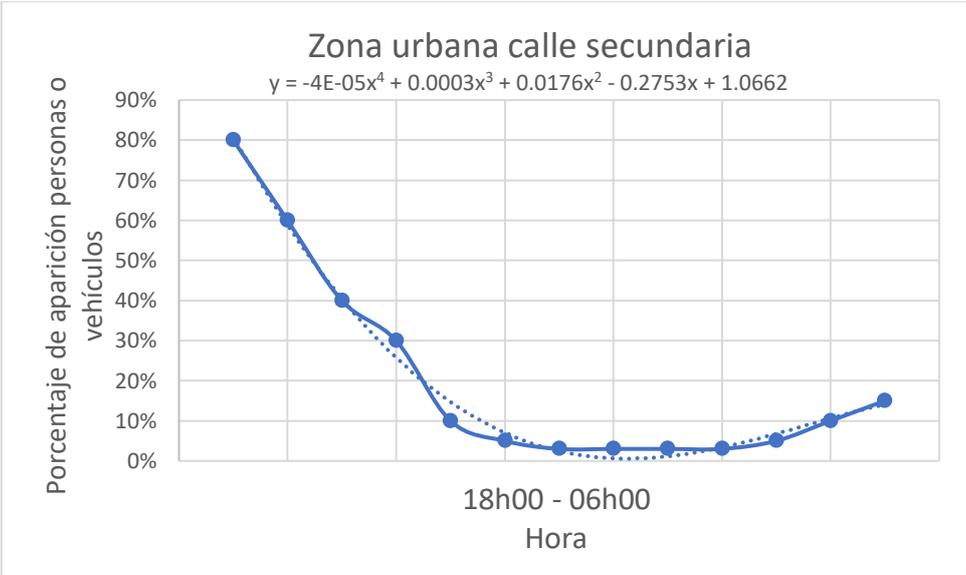
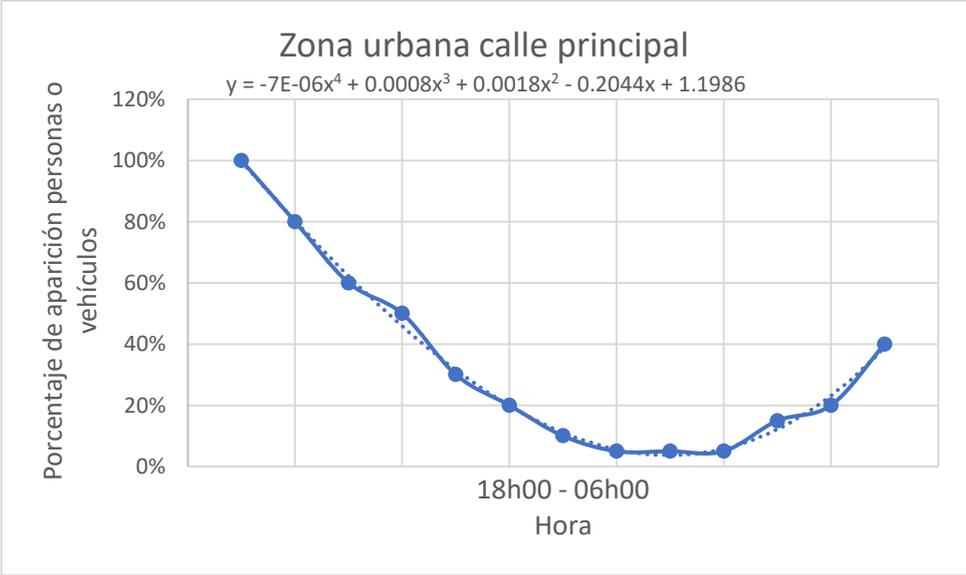
AV. VELASCO IBARRA								
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	AÑO DE INSTALACIÓN	LONGITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
250	250	LDSS250ACC	2014	1.65	CENTRAL CON DOBLE BRAZO	 <p>Central con doble brazo</p>	40	20

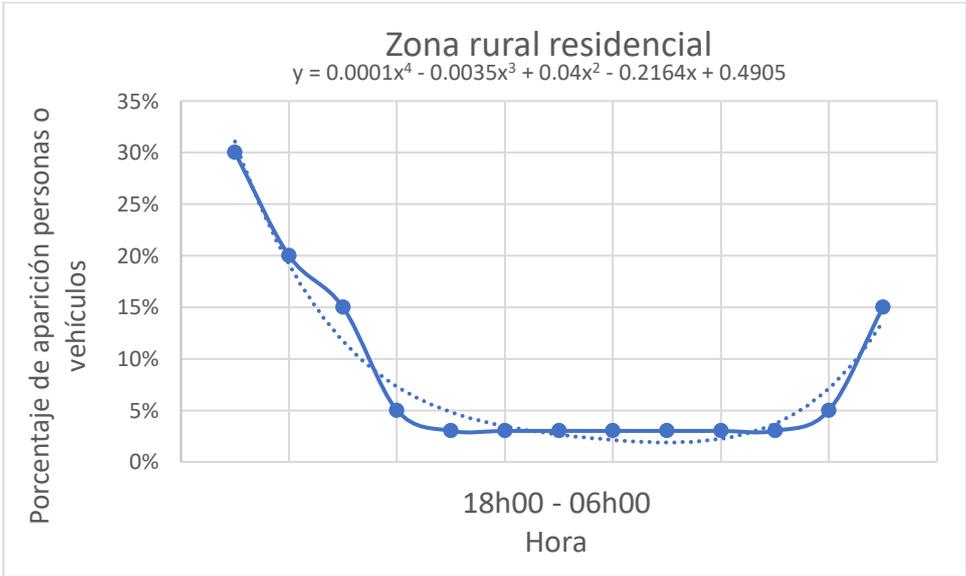
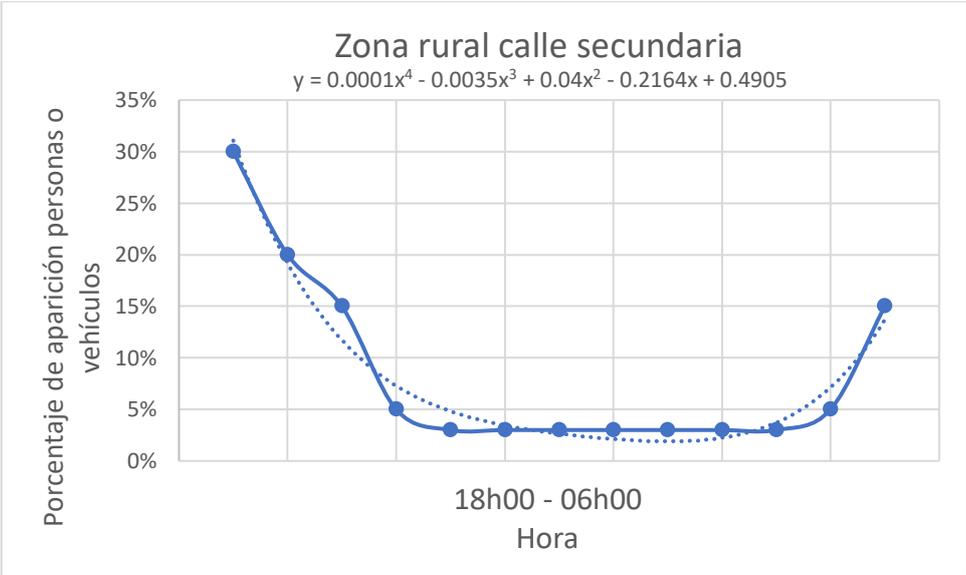
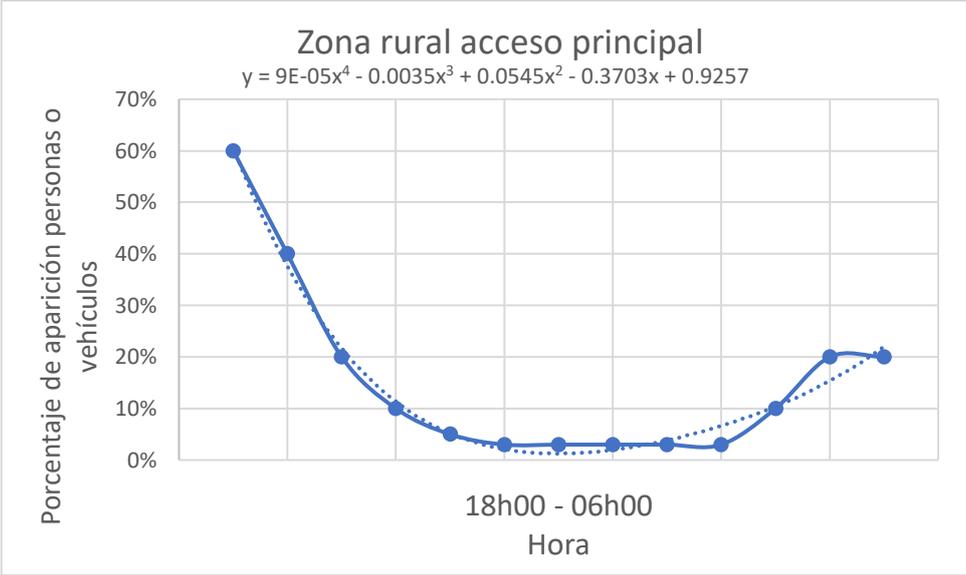
PARQUE ECOLOGICO SAQUISILI								
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	AÑO DE INSTALACIÓN	LONQUITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
71	70	LDPM70ACC	2012	1.65	UNILATERAL		28	Área libre

AVM MARISCAL SUCRE								
CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA	ESTRUCTURA LUMINARIA	AÑO DE INSTALACIÓN	LONQUITUD DE VIA [Km]	TIPO DE INSTALACION		VANO PROMEDIO [m]	ANCHO VIA [m]
28	70	LDPS70ACC	2012	980	UNILATERAL		35	10
8	10	LDPS100ACC	2018	304	UNILATERAL		36	10
19	150	LDPS150PCC	2012	760	UNILATERAL		38	10
19	150	LDPS150PCC	2017	760	UNILATERAL		42	10
20	250	LDPS250ADC	2012	800	UNILATERAL		42	10
38	250	LDOS250ADC	2018	1520	UNILATERAL		41	10

Anexo 4. Curvas de porcentaje de aparición de vehículos o personas según el tipo de zona

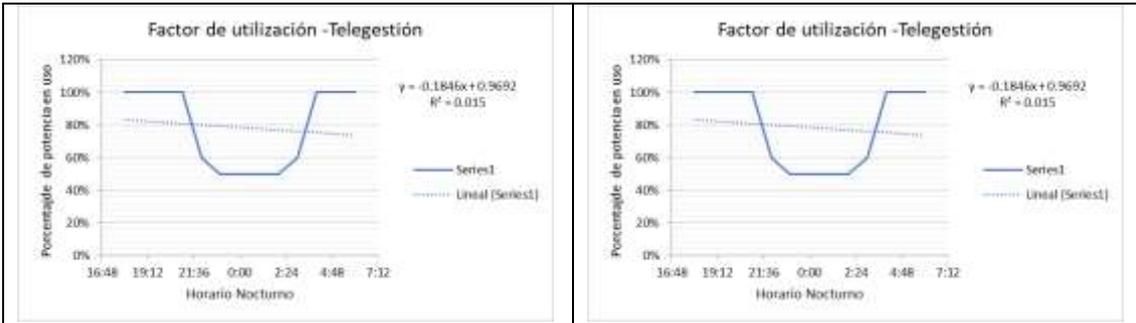






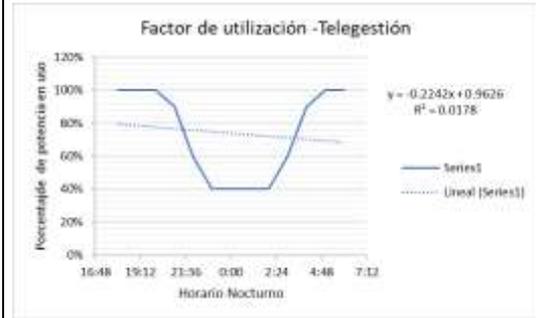
Anexo 5. Factor de utilización por Proyecto LED-Telegestión.

LATACUNGA	
PASO LATERAL LATACUNGA	PANAMERICANA BELISARIO QUEVEDO
ENTRADA SUR -ELOY ALFARO-MAYORISTA	AV. 5 DE JUNIO AL INTERCAMBIADOR PUJILI
AV. MIGUEL ITURRALDE- GASOLINERA BELLAVISTA	AV. NACIONES UNIDAS-ESPE
SALACEDO	
CALLE SUCRE-PARQUE CENTRAL	CENTRO HISTORICO-SALCEDO
AV. JAIME MATA YEROVI-TELE	PANAMERICANA-SALIDA NORTE-TELE

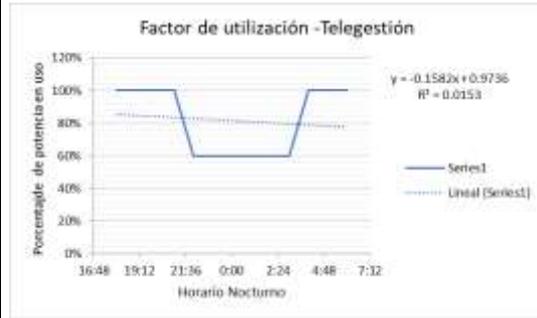


PUJILI

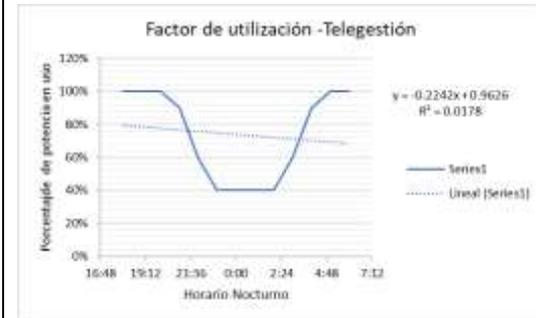
AV. VELASCO IBARRA



PASO LATERAL PUJILI

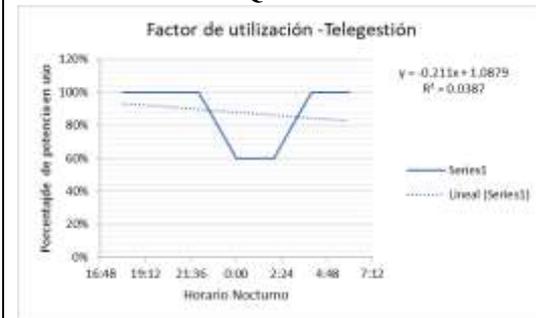


CENTRO HISTORICOPUJILI

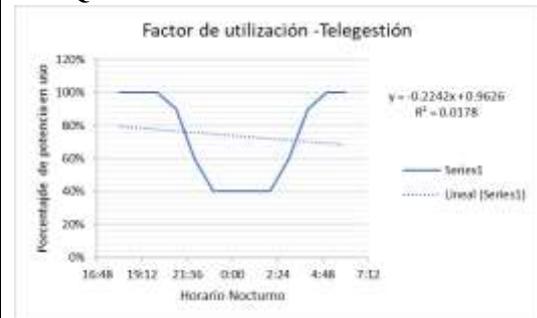


SAQUISILI

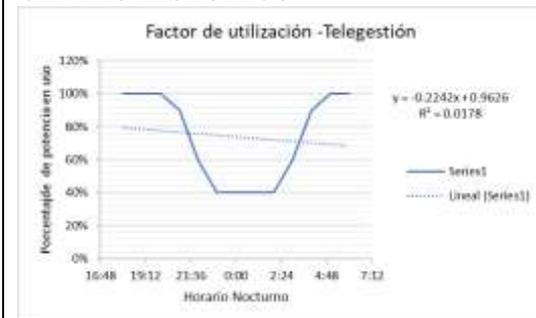
INGRESO SUR SAQUISILI



PARQUE ECOLOGICO



CENTRO HISTORICO



Anexo 6. Detalle de costos para proyectos evaluados en la herramienta de calculo

No	CANTON	DESCRIPCION	ALUMBRADO PUBLICO		TELEGESTIÓN	
1	LATACUNGA	PASO LATERAL LATACUNGA	MATERIALES MANO OBRA	\$1.065.544,48 \$346.548,00	MATERIALES MANO OBRA	\$94.493,70 \$33.250,40
2	LATACUNGA	PANAMERICANA BELISARIO QUEVEDO	MATERIALES MANO OBRA	\$192.778,16 \$60.321,60	MATERIALES MANO OBRA	\$5.230,34 \$1.497,40
3	LATACUNGA	ENTRADA SUR - ELOY ALFARO- MAYORISTA	MATERIALES MANO OBRA	\$198.950,02 \$60.662,40	MATERIALES MANO OBRA	\$13.146,88 \$3.545,98
4	LATACUNGA	AV. 5 DE JUNIO AL INTERCAMBIADOR	MATERIALES MANO OBRA	\$129.104,36 \$40.581,60	MATERIALES MANO OBRA	\$9.163,11 \$2.164,90
5	LATACUNGA	AV. MIGUEL ITURRALDE- BELLAVISTA	MATERIALES MANO OBRA	\$183.812,80 \$44.665,92	MATERIALES MANO OBRA	\$12.977,38 \$3.362,38
6	LATACUNGA	AV. NACIONES UNIDAS	MATERIALES MANO OBRA	\$90.001,66 \$22.049,28	MATERIALES MANO OBRA	\$6.703,94 \$2.102,58
7	SALCEDO	CENTRO HISTORICO- SALCEDO	MATERIALES MANO OBRA	\$311.928,22 \$67.721,52	MATERIALES MANO OBRA	\$46.958,46 \$10.842,78
8	SALCEDO	CALLE SUCRE- PARQUE CENTRAL	MATERIALES MANO OBRA	\$51.149,62 \$11.328,52	MATERIALES MANO OBRA	\$8.034,55 \$3.092,72
9	SALCEDO	PANAMERICANA- SALIDA NORTE- TELE	MATERIALES MANO OBRA	\$0,00 \$0,00	MATERIALES MANO OBRA	\$12.823,66 \$4.460,46
10	SALCEDO	AV. JAIME MATA YEROVI-TELE	MATERIALES MANO OBRA	\$0,00 \$0,00	MATERIALES MANO OBRA	\$16.139,42 \$3.382,42
11	PUJILI	CENTRO HISTORICO	MATERIALES MANO OBRA	\$352.317,42 \$89.191,36	MATERIALES MANO OBRA	\$47.267,80 \$10.578,32
12	PUJILI	PASO LATERAL	MATERIALES MANO OBRA	\$97.781,00 \$24.737,28	MATERIALES MANO OBRA	\$14.380,46 \$4.155,50
13	PUJILI	AV. VELASCO IBARRA	MATERIALES MANO OBRA	\$214.678,77 \$63.643,32	MATERIALES MANO OBRA	\$25.665,44 \$7.052,94
14	SAQUISILI	INGRESO SUR SAQUISILI	MATERIALES MANO OBRA	\$174.471,46 \$5.462,50	MATERIALES MANO OBRA	\$23.633,90 \$6.552,54
15	SAQUISILI	PARQUE ECOLOGICO	MATERIALES MANO OBRA	\$23.311,36 \$5.278,56	MATERIALES MANO OBRA	\$11.514,34 \$4.155,50
16	SAQUISILI	CENTRO HISTORICO	MATERIALES MANO OBRA	\$84.289,50 \$18.676,40	MATERIALES MANO OBRA	\$8.692,94 \$2.344,42

Anexo 7. Aval de los expertos