

FACTIBILIDAD DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EMPLEANDO LUMINARIAS LED Y ALIMENTACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
FACTIBILIDAD DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO
EMPLEANDO LUMINARIAS LED Y ALIMENTACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA**

**AUTOR:
GALO ANDRÉS FLORES FUERES**

**TUTOR:
EDWIN MARCELO GARCÍA TORRES**

Quito, Abril 2016

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Ing. Edwin Marcelo García Torres declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Factibilidad del sistema de alumbrado público empleando luminarias led y alimentación solar fotovoltaica* realizado por Galo Andrés Flores Fueres, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Abril 2016



.....
Ing. Edwin Marcelo García Torres

Cédula de identidad: 1803087400

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Galo Andrés Flores Fueres con documento de identificación N° 1718896648, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “Factibilidad del sistema de alumbrado público empleando luminarias led y alimentación solar fotovoltaica”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....
Nombre: Galo Andrés Flores Fueres

Cédula: 1718896648

Fecha: Abril 15 del 2016

ÍNDICE GENERAL

FACTIBILIDAD DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EMPLEANDO LUMINARIA LED Y ALIMENTACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.....	1
Resumen.....	1
Abstract.....	1
1. Introducción.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Problema de investigación.....	3
1.3 Justificación.....	3
2. Análisis técnico.....	4
2.1 LED (Light Emitting Diode).....	4
2.2 Características y usos del LED.....	4
2.3 Clasificación de los LED.....	4
2.4 Aplicaciones de generación eléctrica mediante energía solar para iluminación con lámparas LED.....	5
2.5 Luminarias convencionales versus luminarias LED.....	5
2.5.1 Lámparas de vapor de mercurio.....	6
2.5.2 Lámparas de vapor de sodio.....	6
2.5.3 Luminarias LED.....	6
2.6 Eficiencia energética.....	6
2.7 Ventajas de la iluminación LED.....	7
2.8 Comparación de luminarias.....	7
2.9 Diseño del sistema de alumbrado público.....	8
2.9.1 Componentes del sistema fotovoltaico.....	8
2.9.2 Metodología del diseño del sistema fotovoltaico.....	8
3. Resultados y discusión.....	11
3.1 Análisis económico.....	11
3.1.1 Inversión en el SFV.....	11
3.1.2 Presupuesto referencial mediante energía convencional.....	11
3.1.3 Comparación de presupuestos.....	12
3.1.4. Energía total generada anual.....	13
3.1.5 Ahorro económico anual.....	13
3.1.6 Tiempo de recuperación de la inversión.....	14
4. Análisis de Sensibilidad.....	16

5. Conclusiones	16
Referencias	17
Estado del Arte	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema fotovoltaico autónomo	8
Figura 2. Metodología aplicada	8
Figura 3. Análisis de sensibilidad	16
Figura 4. Resumen e indicadores del estado del arte	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las luminarias para alumbrado público	7
Tabla 2. Inversión en el SFV.....	11
Tabla 3. Presupuesto referencial con energía convencional	12
Tabla 4. Flujo de caja anual	15
Tabla 5. Análisis de Sensibilidad	16
Tabla 6. Matriz del estado del arte	19

FACTIBILIDAD DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EMPLEANDO LUMINARIA LED Y ALIMENTACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Andrés Flores 1¹, Ing. Marcelo García 2²

Resumen

El presente trabajo muestra un estudio de factibilidad que permitirá revelar las ventajas de implementar un sistema de alumbrado público con luminarias led y alimentación solar fotovoltaica, puesto que, este tipo de iluminación es amigable con el ambiente y además se enfoca en una política de mitigación de daños a la naturaleza generando responsabilidad social. Para cumplir con lo antes citado, el estudio en cuestión consideró el sector comprendido entre el redondel del Condado y el redondel Plaza Equinoccial, ubicado en la ciudad de Quito – Ecuador. Para el sector antes definido, el estudio contempla un análisis teórico que determina las características, usos y ventajas de la iluminación led a comparación de otros tipos de luminarias tradicionales, determinándose además los componentes necesarios para la implementación del sistema fotovoltaico. Con la finalidad de evaluar económicamente la factibilidad de implementar un sistema de alumbrado público con luminarias led, se procedió con la elaboración de un análisis económico tomando en consideración valores monetarios de inversión, gasto y dimensionamiento del sistema, incluyendo además la implementación de

Abstract

The present work shows a study of factibility aims to show the advantages to implement a system of public lighting with led luminaires and solar powered photovoltaic since this type of feeding is friendly with the environment focusing in a mitigation policy of damage to nature generate social responsibility. To comply with the aforementioned the study in question considers the sector covered between the Condado redondel and the Plaza Equinoccial redondel located in Quito-Ecuador. For the sector as defined above, the study provides a theoretical analysis to determinate the characteristics, applications and advantages of the led illumination a comparison with others types of traditional luminaires being determined besides the necessary components for the implementation of the photovoltaic system. In order to evaluate financially the factibility to implement a system of public lighting with led luminaires we proceeded with the financially development taking into account investment monetary values, spending and sizing of the system including also the implementation of photovoltaic system as sources of electrical energy to supply the proposed lighting system.

¹ Bachiller Electrónico, Estudiante de Ingeniería Eléctrica - Universidad Politécnica Salesiana, gfloresf@est.ups.edu.ec.

² Ingeniero Eléctrico, Estudiante de Master en Gestión de la Energía - Universidad Técnica de Cotopaxi, Miembro de Gierei Research Group (Grupo de Investigación en redes Inteligentes) es profesor e investigador - UPS - sede Quito, egarcia@ups.edu.ec

sistemas fotovoltaicos como fuentes de energía eléctrica para el abastecimiento al sistema de iluminación propuesto.

Palabras Clave: Alumbrado Público, Energía Renovable, Luminarias Led, Sistema Fotovoltaico, Sistema Fotovoltaico Autónomo.

Keywords: Public Lighting, Renewable Energy, Led Luminaires, Photovoltaic System, Autonomous Photovoltaic System.

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El alumbrado público tiene sus orígenes en el año de 1524 en Francia, donde las personas de los barrios colgaban una luz en las puertas de sus casas para alumbrar las calles en las cuales transitaban, desde entonces hasta la actualidad el alumbrado público es muy importante en el desarrollo de un país, porque es aquel que permite la iluminación de vías públicas, carreteras, sitios de recreación, parques, estacionamientos, entre otros, con el fin de facilitar la visibilidad apropiada para el desarrollo de las actividades cotidianas de una sociedad. Además con el pasar del tiempo, la humanidad depende cada vez más del uso de la energía, motivo por el cual se pretende encontrar una solución para el crecimiento constante de la demanda. Para mitigar este constante crecimiento se busca explotar responsablemente los recursos naturales como: el agua capaz de producir energía hidroeléctrica, el viento que permite generar energía eólica y el sol que nos facilita la generación de energía fotovoltaica, que son recursos capaces de renovarse. [1] Ecuador es muy rico en fuentes de energía renovable, de tal forma que el gobierno busca considerablemente un cambio en la matriz energética del país, donde la energía renovable abarque un 2% de la producción para el año 2020. [2]-[3]

1.2 Problema de investigación

El presente estudio pretende mostrar las ventajas de implementar un sistema de alumbrado público empleando luminarias led y alimentación solar fotovoltaica, para el efecto, se ha considerado la relación de un análisis detallado para el sector comprendido entre el redondel del Condado y el redondel Plaza Equinoccial, ubicado en la ciudad de Quito – Ecuador.

El estudio se basará en una política de manejo de recursos renovables eficiente (luz solar) y se enfocará en la mitigación de daños a la naturaleza, además se realizará un análisis técnico sobre la tecnología led y sus ventajas sobre otro tipo de luminarias, así como la aplicación de la misma en un sistema de alumbrado público con alimentación solar fotovoltaica. Del mismo modo se efectuará un análisis económico que permitirá identificar de forma clara la inversión a realizarse para la implementación de un Sistema Fotovoltaico (SFV), determinando también el presupuesto referencial para la realización del alumbrado público con energía convencional posteriormente se usarán los valores económicos para determinar la factibilidad o no del presente estudio.

1.3 Justificación

Con la finalidad de buscar una mejora a la situación operativa actual del alumbrado público de las empresas de distribución, sobre todo en los aspectos relacionados a: pérdidas de energía, variaciones de voltaje, contaminación lumínica, deterioro de la tecnología utilizada actualmente, entre otras, se ha visto la necesidad de realizar el estudio de factibilidad de un sistema de alumbrado público empleando luminarias led y alimentación solar fotovoltaica, ya que por sus características constructivas permitirán mejorar el aspecto operacional del sistema de los sistemas de alumbrado público, además de que este tipo de iluminación es amigable con el ambiente y se generará un gran ahorro en cuanto a costos de iluminación de áreas urbanas, autopistas, avenidas, calles, sitios de recreación, escuelas, entre otros.

2. Análisis técnico

2.1 LED (Light Emitting Diode)

Un led (light emitting diode – diodo emisor de luz) es un dispositivo semiconductor que emite luz con diferentes longitudes de onda cuando se polariza de forma directa, circulando así corriente eléctrica por el elemento. El color depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo, pudiendo variar desde el ultravioleta, pasando por el espectro de luz visible, hasta el infrarrojo. [4]-[5]

2.2 Características y usos del LED

Un led es un diodo emisor de luz, que puede ser de varios colores dependiendo del material con el cual fueron elaborados, estos pueden ser de color amarillo, verde, rojo, blanco entre otros. Los led por su modo de funcionamiento pueden convertir en luz prácticamente toda la energía que utilizan, producen muy poco calor, no atraen insectos, no hay zócalos, cables o circuitos quemados, no generan carbonilla, no efectúan parpadeos, no se afectan por los ciclos de encendido y apagado, el tiempo de encendido es muy corto, el rendimiento luminoso es alto, son ecológicos con el ambiente, entre otras características.

La utilización de los leds es muy variada, entre los usos se puede mencionar: iluminación en dispositivos de señalización vial, en paneles informativos, alumbrado de pantallas de cristal líquido de teléfonos móviles, calculadoras, agendas electrónicas, equipos de computadoras (teclados, impresoras, monitores, dispositivos de encendido/apagado), linternas, relojes, juguetes con destellos de luz, fuente de luz para microscopios, aparatos de medicina en todas sus especialidades; así como también en los medios de transporte terrestre, marítimo y aéreo. [6]

2.3 Clasificación de los LED

Los led se clasifican de acuerdo al uso que se vaya a dar a los mismos, entre estos tenemos:

- **Led tradicional o primario:** Este tipo de led es el que se utiliza de forma común en la mayoría de equipos eléctricos y/o electrónicos, ya sea como emisor o receptor de infrarrojos o como pilotos luminosos, tienen una forma redondeada o cilíndrica y pueden ser de colores rojo, verde y amarillo.
- **Led SMD (Surface Mounted Device):** Es un diodo emisor de luz de montaje en superficie, este tipo de led se encuentra encapsulado lo que proporciona una gran cantidad de luz mejorando la calidad del led, no generan calor y su manera de instalación es colocarlos en serie sobre algún circuito impreso permitiendo crear una luminaria, este tipo de leds tienen una eficiencia lumínica muy alta en torno a los 60 Lm/W.
- **Led COB (Chip On Board):** Es un conjunto de leds agrupados en serie y/o paralelo dentro de un mismo encapsulado, son superiores a los leds SMD porque proporcionan un rendimiento lumínico superior a los 110 Lm/W y disipan mejor el calor.
- **Led de potencia:** Es un led de mayor consumo a partir de 1 W por led, por lo cual tienen una mayor potencia lumínica, estos leds requieren de una disipación térmica muy buena y son similares o superiores a los leds SMD en términos de eficiencia.
- **Led dip estándar:** Este tipo de leds son leds de primera generación, siendo muy inferiores a los otros tipos de leds mencionados anteriormente,

estos leds en la actualidad tienen una tecnología obsoleta ya que su potencia lumínica deja bastante que desear.

2.4 Aplicaciones de generación eléctrica mediante energía solar para iluminación con lámparas LED

A nivel internacional se han realizado algunos proyectos de alumbrado público con luminarias led y energía solar fotovoltaica, la mayoría de estos proyectos se han destinado a la iluminación de sitios de recreación parques y accesos viales.

Por ejemplo, Perú tiene gran experiencia en electrificación fotovoltaica y ha desarrollado varios proyectos relacionados a este tema, entre ellos se puede mencionar: la electrificación fotovoltaica en la comunidad selvática de San Francisco, el proyecto fotovoltaico “SOLSYSTEMAS” implementado en el departamento de Puno; y, el proyecto de electrificación fotovoltaica para las comunidades insulares de: Taquile, Amantaní, Uros y Soto, la característica especial de este último proyecto es que, los beneficiarios están pagando los costos del kit instalado (panel solar, baterías, regulador de carga e inversor, para llegar a ser propietarios del Sistema Fotovoltaico (SFV). [7]-[8]-[9] Lo expuesto anteriormente permite apreciar que los gobiernos buscan diferentes opciones de utilización de la energía solar; en este contexto cabe la posibilidad que, al reemplazar el alumbrado convencional por iluminación led usando como fuente de abastecimiento los SFV, se obtenga un ahorro económico significativo, reduciendo además la cantidad de consumo energético y consecuentemente una minimización de emisiones de CO₂.

Bajo este contexto, el Ecuador se

presenta como una nación en proceso hacia la eficiencia energética, incluyéndose dentro de este proceso la iluminación pública, por lo que, en una primera fase, la inversión inicial resultaría significativa para que luminarias con tecnología LED logren introducirse en el alumbrado público y así elevar la eficiencia de ese sistema [10]. Con base a lo mencionado, es necesario recalcar que en el país el sistema de alumbrado público registra un 6% del consumo eléctrico nacional, el cual se encuentra bajo un régimen estatal, en el cual se especifica las condiciones técnicas, económicas y financieras que las empresas distribuidoras de energía eléctrica deben cumplir para que logren prestar el servicio de alumbrado público con mejor calidad y alta eficiencia. [11]

2.5 Luminarias convencionales versus luminarias LED

En el Ecuador, hace unos 6 años aproximadamente, se usaba luminarias con tecnología de tipo presión de mercurio, mismas que se implementaron en gran parte del alumbrado público, sin embargo, las investigaciones de ámbito internacional determinaron que su componente fundamental era excesivamente contaminante e ineficiente, motivo por el cual se las dejó de utilizar, produciendo el uso de luminarias de alta presión de sodio, las cuales abarcan el 88.33% del país representando un gasto de 25,7 millones de dólares. [12]

En los últimos años se ha estudiado la tecnología LED a fin de implementar su uso en el país, ya que se caracterizan por tener: una vida útil extensa, un bajo consumo de energía y mayor rendimiento debido a una mejor manipulación en el direccionamiento de la luz; actualmente se han logrado instalar alrededor de 4.300 luminarias LED gracias al primer paso que han

dado algunas empresas eléctricas ocasionando sus indicios a nivel nacional [12]. A continuación se muestra un análisis por tipo de luminarias, a fin de mostrar sus características y detalles técnicos y económicos.

2.5.1 Lámparas de vapor de mercurio

Esta lámpara de alta presión consiste en un tubo de cuarzo relleno de vapor de mercurio, el cual tiene dos electrodos principales y uno auxiliar para facilitar el encendido. A medida que aumenta la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales que ioniza el gas inerte contenido en el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales, este tipo de lámpara tiene una vida útil muy larga 25000 horas, pero ya no se utiliza actualmente en alumbrado público. [13]

2.5.2 Lámparas de vapor de sodio

Es un tipo de lámpara de descarga de gas que usa vapor de sodio para producir luz. Es una de las fuentes de iluminación bastante eficiente, ya que generan gran cantidad de lúmenes por vatio. El color de la luz que producen es amarilla brillante.

Vapor de sodio a baja presión (SBP);

Este tipo de lámpara es la que genera más lúmenes por vatio del mercado (140lum/W), además esta lámpara tiene una vida útil muy larga de 6000 a 8000 horas. La desventaja de esta es que la reproducción de los colores es muy pobre. Su costo varía entre 65 y 170 dólares dependiendo de la potencia eléctrica. [13]-[14]

Vapor de sodio de alta presión (SAP);

Este tipo de lámpara es una de las más utilizadas en el alumbrado público ya que tiene un alto rendimiento y la reproducción de los colores se mejora considerablemente, genera 100lum/W por vatio del mercado, además esta lámpara tiene una vida útil superior a las SBP de 8000 a 12000 horas. Su desventaja es que no se pueden iluminar anuncios o algún elemento que requiera excelente reproducción cromática. Su costo varía entre 200 y 400 dólares dependiendo de la potencia eléctrica. [13]-[14]

2.5.3 Luminarias LED

Estas luminarias son las más modernas que existen en el mercado, y que ya están reemplazando a las lámparas de vapor de sodio en alumbrado público, este tipo de luminaria tiene un alto rendimiento y ofrece la mejor reproducción de colores, tiene una eficiencia energética mayor que 110lum/W por vatio del mercado, además su vida útil es mayor a 50000 horas. Su principal desventaja es su elevado costo en el mercado debido a que es una tecnología nueva. Su precio varía entre 180 y 450 dólares aproximadamente dependiendo de la potencia eléctrica.

2.6 Eficiencia energética

Según las previsiones actuales, por el crecimiento de la población, el despegue de los países en desarrollo, la sociedad de consumo, el aumento del efecto invernadero por la generación de CO₂, y demás, se prevé un aumento de consumo muy importante de energía en los próximos años a nivel mundial, motivo por el cual se están buscando varias alternativas que permitan un consumo energético eficiente.

Como se puede apreciar, el presente estudio abarca un pilar fundamental relacionado con la eficiencia energética, porque al utilizar un sistema

convencional de alumbrado público, el flujo luminoso obtenido por cada vatio consumido de electricidad es muy elevado, lo que produce un alto grado de contaminación y la eficiencia luminosa es muy baja. [15]-[16]

Por este motivo, el uso de iluminación en el sistema de alumbrado público con tecnología LED permite obtener una mayor eficiencia energética, porque no contaminan el ambiente y aunque su eficacia luminosa (lm/W) de fuente de luz sea inferior, su reproducción de colores permite que los lúmenes que llegan a la superficie o espacio a iluminar lo hayan en un mayor porcentaje. [4]

2.7 Ventajas de la iluminación LED

Como se mencionó anteriormente la tecnología de iluminación LED ha tenido grandes avances lo cual ha generado mayores beneficios para los usuarios, entre estos se puede mencionar los siguientes: [17]

- Vida útil considerablemente larga (mayor a 50.000 horas).
- Bajos costos de mantenimiento.
- Eficiencia energética superior a otros tipos de luminarias.
- No generan radiación ultravioleta, ni radiación infrarroja.
- Emisión de colores saturados, sin filtros.
- Mejor direccionamiento de la luz debido a un mejor control óptico.
- Control dinámico del color, porque se puede elegir su tonalidad.
- Control regulable de la iluminación a los niveles necesarios.
- Encendido instantáneo al 100% de intensidad y de forma habitual.
- Encendido a bajo voltaje en corriente continua.

- Muy eficaz en ambientes fríos.

2.8 Comparación de luminarias

A continuación se presenta una tabla comparativa entre los tres tipos de luminarias que se utilizan en alumbrado público:

Tabla 1. Características de las luminarias para alumbrado público [13]-[14]-[17]

Características	Vapor de Mercurio	Vapor de sodio alta presión	LED de alta potencia
Vida útil (horas)	25.000	12.000	> 50.000
Eficacia (lm/W)	60	100	110
Mantenimiento de lúmenes	Malo	Bueno	Bueno
Índice de rendimiento de color	46%	22%	70-90%
Temperatura de color (K)	4.100	1.900-2.200	2.700-5.700
Calor a disipar	46%	37%	75% 85%
Encendido (min)	10	3 a 5	Instantáneo
Rendimiento (min)	3	1	Instantáneo

Además de las características señaladas en la luminaria LED, es necesario citar que las propiedades que más resaltan para este tipo de luminarias son: alto índice de rendimiento de color, resistencia a los encendidos y apagados continuos, larga vida útil, arranque instantáneo, entre otras características esenciales que son fundamentales para una mejor eficiencia energética, además, las lámparas LED son amigables con el ambiente, pues no contienen ni plomo ni mercurio, así que no contaminan con residuos tóxicos al mismo. Por ende este tipo de luminarias están llamadas a reemplazar a las tradicionales luminarias de vapor de sodio que actualmente se usan. [18]

2.9 Diseño del sistema de alumbrado público

El objetivo de este trabajo es determinar la factibilidad de implementar un sistema de alumbrado público empleando luminarias led y alimentación solar fotovoltaica, el cual suministrará energía renovable a un sistema de iluminación de alta eficiencia (tecnología LED). Por lo expuesto a continuación se muestran algunos aspectos considerados en la elaboración del estudio.

2.9.1 Componentes del sistema fotovoltaico

A continuación se describirá de forma general los elementos de un sistema fotovoltaico, el cual está compuesto por la integración de muchos dispositivos que cumplen una o varias funciones específicas, con el fin de convertir la energía solar en energía eléctrica: [19]

- **Panel fotovoltaico:** Está constituido por la unión de varias celdas fotovoltaicas, que generan electricidad de acuerdo a la luz que incide sobre estas.
- **Regulador de carga:** Ajusta y regula la carga generada por el panel fotovoltaico, con el fin de proteger a las baterías de las sobrecargas y descargas que se puedan generar.
- **Baterías:** Almacenan la energía emanada por el generador, con la finalidad de gozar de energía eléctrica cuando sea necesaria.
- **Inversor:** Convierte la CC de 12 o 24 voltios almacenada en las baterías en CA de 120 o 230 voltios.



Figura 1. Sistema fotovoltaico autónomo [19]

2.9.2 Metodología del diseño del sistema fotovoltaico

Para establecer la factibilidad del uso de energía solar en el sistema de alumbrado público con tecnología led, se realiza el estudio del espacio a iluminar, con el fin de obtener la distancia entre postes, la altura del montaje de la luminaria led, la potencia de la carga instalada considerando siempre los agentes que puedan alterar los niveles de iluminación (presión, temperatura, humedad, ubicación y tipo de suelo), además se realizarán los cálculos técnicos necesarios que ayudarán a definir claramente las características de cada uno de los elementos que compondrán el sistema fotovoltaico, todo esto con el fin de establecer los parámetros fotométricos y el consumo de energía que generará el sistema fotovoltaico junto con sus componentes.

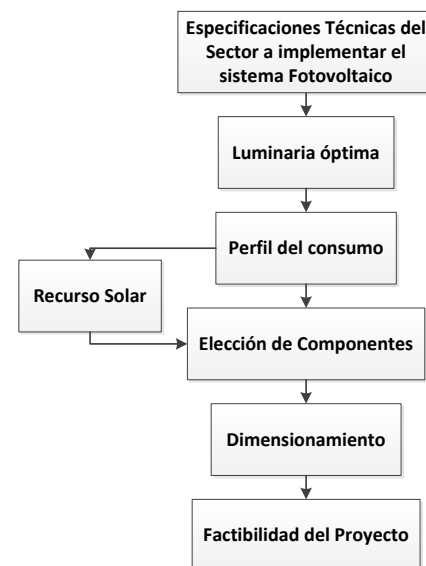


Figura 2. Metodología aplicada [Autor]

A continuación se presentan los cálculos técnicos realizados para el diseño del sistema fotovoltaico:

Luminaria seleccionada

Se utilizará una luminaria led de 60 watts, ya que ésta reemplaza satisfactoriamente a una luminaria de vapor de sodio de 150 watts.

Irradiación solar (promedio mensual)

4.5 kWh/m²/día

Demanda energética

El cálculo de la demanda energética se obtiene de la siguiente forma:

$$D_E = P_l * n_l * t \quad (1)$$

Donde:

D_E = Demanda energética

P_l = Potencia de la luminaria

n_l = Número de luminarias utilizadas en el circuito

t = Horas de uso de las luminarias

$$\begin{aligned} D_E &= 60W * 2 * 12h \\ D_E &= 1440 Wh/día \end{aligned}$$

Potencia total del arreglo de paneles

El valor de la potencia total del arreglo de paneles es obtenido aplicando la siguiente expresión:

$$P_{tap} = \frac{(F_{cp} * D_E)}{I_s} \quad (2)$$

Donde:

P_{tap} = Potencia total del arreglo de paneles

F_{cp} = Factor de compensación por pérdidas [22]

D_E = Demanda energética

I_s = Irradiación solar

$$\begin{aligned} P_{tap} &= \frac{(0.9 * 1440 Wh/día)}{4.5 kWh/m^2/día} \\ P_{tap} &= 288 W_p \end{aligned}$$

Número de paneles fotovoltaicos

En la determinación del número de paneles fotovoltaicos se realizó las siguientes formulaciones:

$$E_T = P_{effect} * h \quad (3)$$

$$E = \frac{E_T}{R} \quad (4)$$

Donde:

E_T = Consumo teórico

P_{effect} = Potencia de la luminaria

h = Número de horas de uso por cada día

E = Consumo energético real

R = Parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica [21]-[23]; definido como:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d}\right) \quad (5)$$

Donde:

K_a = Coeficiente de autodescarga diaria

K_b = Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador

K_c = Coeficiente de pérdidas en el inversor

K_v = Coeficiente de pérdidas varias

N = Número de días de autonomía de la instalación

P_d = Profundidad de descarga de la batería

$$\begin{aligned} E_T &= 60W * 2 * 12h \\ E_T &= 1440 Wh/día \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= \frac{1440 Wh/día}{0.8415} \\ E &= 1711 Wh/día \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= (1 - 0.05 - 0.05 - 0.05) * \left(1 - \frac{0.005 * 1}{0.5}\right) \\ R &= 0.8415 \end{aligned}$$

Por lo tanto, se obtiene la siguiente expresión:

$$N_{PFV} = \frac{E}{0.9(P_{tap} * I_s)} \quad (6)$$

Donde:

N_{PFV} = Número de paneles fotovoltaicos
 E = Consumo energético real
 P_{tap} = Potencia total del arreglo de los paneles
 I_s = Irradiación solar

$$N_{PFV} = \frac{1711 \text{ Wh/día}}{0.9(288 \text{ Wp} * 4.5 \text{ kWh/m}^2/\text{día})}$$

$$N_{PFV} = 1.5$$

$$N_{PFV} \approx 2$$

Potencia total del banco de baterías

El valor de la potencia total del banco de baterías se obtuvo al aplicar la siguiente expresión:

$$P_{TBB} = \frac{(A_{UT} * D_E)}{(E_b * D_m)} \quad (7)$$

Donde:

P_{TBB} = Potencia total del banco de baterías
 A_{UT} = Autonomía [22]
 D_E = Demanda energética
 E_b = Eficiencia de las baterías
 D_m = Descarga máxima

$$P_{TBB} = \frac{(1 * 1440 \text{ Wh/día})}{(80\% * 50\%)}$$

$$P_{TBB} = 3600 \text{ Wh/día}$$

Capacidad total del banco de baterías

La capacidad total del banco de baterías se obtiene al aplicar la siguiente expresión:

$$C_{TBB} = \frac{P_{TBB}}{V_s} \quad (8)$$

Donde:

C_{TBB} = Capacidad total del banco de baterías

P_{TBB} = Potencia total del banco de baterías

V_s = Voltaje del sistema 12 V

$$C_{TBB} = \frac{3600 \text{ Wh/día}}{12 \text{ V}}$$

$$C_{TBB} = 300 \text{ Ah/día}$$

Número de baterías

Para calcular el número de baterías se aplica la siguiente formula:

$$N_b = \frac{C_{TBB}}{C_b} \quad (9)$$

Donde:

N_b = Número de baterías
 C_{TBB} = Capacidad total del banco de baterías
 C_b = Capacidad de las baterías 150 Ah/día

$$N_b = \frac{300 \text{ Ah/día}}{150 \text{ Ah/día}}$$

$$N_b \approx 2$$

Corriente del controlador

La corriente del controlador resulta del cálculo de la siguiente formula:

$$A_{cr} = \frac{P_{tap}}{V_s} \quad (10)$$

Donde:

A_{cr} = Corriente del controlador
 P_{tap} = Potencia total del arreglo de paneles
 V_s = Voltaje del sistema 12 V

$$A_{cr} = \frac{288 \text{ Wp}}{12 \text{ V}}$$

$$A_{cr} = 24 \text{ Amp}$$

Con base en los cálculos técnicos realizados, se procedió a dimensionar el SFV obteniendo cada uno de sus componentes (paneles solares, regulador de voltaje, baterías, convertidor de

voltaje, luminarias, y demás), según las características técnicas adecuadas para el montaje del sistema fotovoltaico, hay que hacer hincapié que el SFV es autónomo.

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis económico

3.1.1 Inversión en el SFV

A continuación se detalla la inversión que se necesita para la implementación del sistema fotovoltaico en el sector comprendido entre el redondel del Condado y el redondel Plaza Equinoccial ubicados en la ciudad de Quito – Ecuador (13,1 Km):

Tabla 2. Inversión en el SFV [Autor]

Inversión Sistema Fotovoltaico				
Ítem	Denominación	Cantidad	Precio Unitario (dólares)	Precio Total (dólares)
1	Luminaria LED BBELED LS2 60W	874	250	218500
2	Panel monocristalino 150Wp / 12V	874	195	170430
3	Batería ULTRACELL UCG150-12 GEL de CICLO PROFUNDO	874	310	270940
4	Controlador Morningstar ProStar 15	437	160	69920
5	Inversor robusto de onda sinusoidal PST1500-12 1500W	437	700	305900
6	Poste circular metálico de 6 pulgadas	437	150	65550

7	Gabinete metálico	437	75	32775
8	Soporte para paneles solares	437	20	8740
9	Fotocélula cerrada para encendido	437	15	6555
10	Cable 6mm	2185	0,83	1813,55
11	Cable 10mm	2185	2,44	5331,4
12	Cable 50mm	2185	5,31	11602,4
13	Terminales de arandela cable 6mm	1748	1,5	2622
14	Terminales de arandela cable 10mm	1748	1,9	3321,2
15	Terminales de arandela cable 50mm	1748	5	8740
16	Pernos sujetador poste	1748	0,8	1398,4
17	Tuercas sujetador poste	1748	0,2	349,6
18	Braker termomagnético 30 ^a	437	70	30590
	Total			1215079
	Mano de obra	1%		12150,8
	Otros gastos	3%		36452,4
	TOTAL INVERSIÓN			1263682

Los valores indicados en la tabla anterior, son precios promedio cotizados por las empresas que ofertan material eléctrico en el país.

3.1.2 Presupuesto referencial mediante energía convencional

A continuación se indicará el presupuesto referencial con energía convencional para el sector mencionado anteriormente:

Tabla 3. Presupuesto referencial con energía convencional [Autor]

Presupuesto Referencial con Energía Convencional				
Ítem	Denominación	Cantidad	Precio Unitario (dólares)	Precio Total (dólares)
1	Excavación para poste 12m	437	40	17480
2	Poste de hormigón 12m listo para instalación	437	450	196650
3	Transporte con grúa para instalación	437	200	87400
4	Instalación por luminaria	874	75	65550
5	Luminaria de vapor de sodio 210 W	874	250	218500
6	Cable # 10	1311	0,9	1179,9
7	Cable TTU #2	13110	6,8	89148
8	Cable TTU #4	13110	4,6	60306
9	Cable TTU #8	5244	1,4	7341,6
10	Aislador de porcelana	874	50	43700
11	Herrajes generales (varillas, pernos, tuercas, arandelas, bastidor, etc.)	437	750	327750
12	Excavación para tensor	2	35	70
13	Instalación tensor	2	75	150
	Total			1115225,5
	Mano de obra	1%		11152,255

	Otros gastos	3%		33456,765
	IVA	12%		133827,06
	TOTAL INVERSIÓN			1293661,58

Los valores indicados en la presente tabla, son precios cotizados que han sido facilitados por empresas contratistas que se dedican a la instalación de redes de alumbrado público en el país.

3.1.3 Comparación de presupuestos

Se puede apreciar que el presupuesto de inversión en el SFV y el presupuesto referencial con energía convencional, para el caso de estudio, son muy similares siendo más viable la implementación del SFV porque genera un diferencial a favor de 29979,58 dólares, calculado de la siguiente manera:

$$A_e = TI_{EC} - TI_{SFV} \quad (11)$$

Donde:

A_e = Diferencial económico de dinero en la inversión

TI_{EC} = Total inversión sistema de alumbrado público con energía convencional (Tabla 3)

TI_{SFV} = Total inversión sistema de alumbrado público con energía renovable (Tabla 2)

$$A_e = 1293661,58 \text{ dólares} - 1263682 \text{ dólares}$$

$$A_e = 29979,58 \text{ dólares}$$

Una vez elaborados los respectivos presupuestos de inversión del SFV como de energía convencional, se procederá a realizar los cálculos correspondientes, que permitirán determinar el verdadero costo de la energía solar fotovoltaica producida y el ahorro anual durante la vida útil del SFV (20 años): [20]

3.1.4. Energía total generada anual

La energía total generada por el SFV se calculó de la siguiente manera:

$$ET_d = n_p * D_E \quad (12)$$

Donde:

ET_d = Energía total generada día
 n_p = Número de postes a instalar (Tabla 2)
 D_E = Demanda energética por poste

$$ET_d = 437 * 1440 \text{ Wh/día}$$

$$ET_d = 629280 \text{ Wh/día}$$

$$ET_a = (ET_d * d_{uso}) / 1_{kWh} \quad (13)$$

Donde:

ET_a = Energía total generada año
 ET_d = Energía total generada día
 d_{uso} = Días de uso (365 días)
 1_{kWh} = 1000 watts hora

$$ET_a = (629280 \text{ Wh/día} * 365 \text{ días}) / 1_{kWh}$$

$$ET_a = 229687 \text{ kWh/año}$$

Como se observa, se consumen 229687 kWh/año con el sistema fotovoltaico.

3.1.5 Ahorro económico anual

Para obtener el ahorro económico anual, se calculó el costo de la energía anual del SFV, el costo de la energía anual con energía convencional, el costo de mantenimiento del SFV, el costo de mantenimiento con energía convencional y costo por pérdidas de energía eléctrica con energía convencional del sistema de alumbrado público detallados a continuación:

Costo energía anual del SFV

Con los 229687 kWh/año, se procede a realizar el cálculo del costo de la energía anual del SFV:

$$Ce_{aSFV} = ET_a * cp_{kWh} \quad (14)$$

Donde:

Ce_{aSFV} = Costo energía anual del sistema fotovoltaico
 ET_a = Energía total generada año por el SFV
 Cp_{kWh} = Costo promedio kilowatt hora 0.08 dólares

$$Ce_{aSFV} = 229687 \text{ kWh/año} * 0.08 \text{ dólares}$$

$$Ce_{aSFV} = 18375 \text{ dólares/año}$$

Para calcular el costo de energía anual del SFV, hay que tener en cuenta que se tomó el costo promedio del kWh de acuerdo al pliego tarifario del ARCONEL, el cual es de 0,08 dólares [20], obteniendo como resultado un costo de 18375 dólares.

Costo energía anual con energía convencional

Se realizó el cálculo del costo anual con energía convencional, de la misma manera que se realizó el cálculo del costo de la energía con el SFV, obteniendo como resultado un costo de 45937 dólares.

* Para obtener el valor de la energía total generada al año con energía convencional, se debe aplicar las expresiones del punto 3.1.4.

Una vez realizados los cálculos correspondientes, se procede a calcular el ahorro económico en relación al costo de energía expresado de la siguiente manera:

$$Ae_{ace} = Ce_{aec} - Ce_{aSFV} \quad (15)$$

Donde:

Ae_{ace} = Ahorro económico anual costo de energía

$C_{e_{aec}}$ = Costo energía anual con energía convencional

$C_{e_{aSFV}}$ = Costo energía anual del sistema fotovoltaico

$$Ae_{ace} = 45937 \text{ dólares} - 18375 \text{ dólares}$$
$$Ae_{ace} = 27562 \text{ dólares}$$

Lo cual genera un ahorro económico anual de 27562 dólares, lo que demuestra que la implementación del SFV en un sistema alumbrado público es viable.

Costo de mantenimiento del SFV

Para calcular el costo de mantenimiento del SFV, se considera el valor total de la inversión del sistema fotovoltaico (Tabla 2) multiplicado por el 2% (sugerido) para mantenimiento de este sistema obteniendo un valor de 25274 dólares.

Costo de mantenimiento con energía convencional

El siguiente costo se obtiene considerando el valor total de la inversión del presupuesto referencial con energía convencional (Tabla 3) multiplicado por el 7% (sugerido) para mantenimiento del sistema lo cual genera un costo de 90556 dólares.

Con base en los datos anteriores, se obtiene un ahorro económico anual referente a los costos de mantenimiento de la siguiente manera:

$$Ae_{acm} = Cm_{aec} - Cm_{aSFV} \quad (16)$$

Donde:

Ae_{acm} = Ahorro económico anual por costos de mantenimiento

Cm_{aec} = Costos de mantenimiento anual con energía convencional

Cm_{aSFV} = Costos de mantenimiento anual del sistema fotovoltaico

$$Ae_{acm} = 90556 \text{ dólares} - 25274 \text{ dólares}$$
$$Ae_{acm} = 65283 \text{ dólares}$$

Lo cual produce un ahorro económico anual de 65283 dólares por costos de mantenimiento, lo que demuestra que la implementación del SFV en un sistema alumbrado público es factible.

Costo por pérdidas de energía eléctrica con energía convencional

Para calcular el costo por pérdidas de energía eléctrica con energía convencional se consideró el valor total de la inversión del presupuesto referencial con energía convencional (Tabla 3) multiplicado por un 5% (sugerido) como imprevisto para cubrir ésta compensación, obteniendo un valor de 64683 dólares.

Realizados todos los cálculos anteriores se obtiene el ahorro económico total anual expresado de la siguiente forma:

$$Ae_{ta} = Ae_{ace} + Ae_{acm} + C_{pec} \quad (17)$$

Donde:

Ae_{ta} = Ahorro económico total anual

Ae_{ace} = Ahorro económico anual costo de energía

Ae_{acm} = Ahorro económico anual por costos de mantenimiento

C_{pec} = Costo por pérdidas de energía eléctrica con energía convencional

$$Ae_{ta} = 27562 \text{ dólares} + 65283 \text{ dólares}$$
$$+ 64683 \text{ dólares}$$
$$Ae_{ta} = 157528 \text{ dólares}$$

Lo cual genera un valor de 157528 dólares de ahorro económico total anual.

3.1.6 Tiempo de recuperación de la inversión

Para obtener el tiempo de recuperación de la inversión hay que calcular el flujo de caja, valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión (PAYBACK) detallado a continuación:

Flujo de caja

Para obtener el flujo de caja anual se tiene en cuenta el comportamiento de los ingresos y egresos de dinero, para el presente cálculo se considera el ingreso por venta de la energía anual del SFV más el ahorro económico total anual.

Tabla 4. Flujo de caja anual [Autor]

Flujo de Caja	
No. de Años	Flujo de Efectivo
0	-1263682
1	175903
2	175903
3	175903
4	175903
5	175903
6	175903
7	175903
8	175903
9	175903
10	175903
11	175903
12	175903
13	175903
14	175903
15	175903
16	175903
17	175903
18	175903
19	175903
20	175903

Los datos obtenidos en el flujo de caja sirven para realizar los cálculos del VAN y TIR respectivamente.

Valor actual neto (VAN)

El VAN permite calcular el valor presente de los flujos de caja futuros generados por una inversión, aplicando la siguiente expresión:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+i)^1} + \frac{Q_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+i)^n} \quad (18)$$

Donde:

VAN = Valor actual neto

A = Desembolso inicial requerido para la inversión

Q = Flujo de caja de cada período

i = Tasa de descuento 12%

n = Número de períodos

$$VAN = -1263682 + \frac{175903}{(1+0.12)^1} + \frac{175903}{(1+0.12)^2} + \dots + \frac{Q_{20}}{(1+0.12)^{20}}$$

$$VAN = 50215 \text{ dólares}$$

Se puede apreciar que el VAN es mayor que cero, lo que demuestra que el presente estudio de factibilidad es viable.

Tasa interna de retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que permite convertir el VAN en cero expresado de la siguiente manera:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Q}{(1+TIR)^t} - A = 0 \quad (19)$$

Donde:

VAN = Valor actual neto

n = Número de períodos

Q = Flujo de caja de cada período

A = Desembolso inicial requerido para la inversión

$$VAN = \sum_{t=1}^{20} \frac{175903}{(1+TIR)^t} - 1263682 = 0$$

$$TIR = 13\%$$

Se observa que la TIR es del 13%, el cual equivale al porcentaje de rentabilidad del presente estudio de factibilidad.

Período de recuperación de la inversión (PAYBACK)

A través del PAYBACK se determina el tiempo de recuperación de la inversión, el cual se obtiene de la suma del flujo acumulado con signo negativo (-) de cada año, más (+) el flujo de caja actualizado de cada año, dando como resultado que el período de recuperación de la inversión es de 17 años, 5 meses y 8 días exactamente, lo que demuestra que el presente proyecto es viable porque el período de vida útil del SFV es de 20 años.

4. Análisis de Sensibilidad

Por medio del análisis de sensibilidad, se puede apreciar el valor de las inversiones y las posibles variaciones de cualquiera de los elementos que componen la inversión, lo cual permitirá ver si el estudio de factibilidad es viable o no.

Como se observa en el análisis económico, el estudio de factibilidad del sistema de alumbrado público empleando luminarias led y alimentación solar fotovoltaica es viable o factible, pero si sucediera una variación en los costos de los elementos que componen el sistema fotovoltaico, al aumentar el costo de dichos elementos, el estudio de factibilidad no sería viable o rentable porque no se podría recuperar la inversión en el período establecido del proyecto, en este caso sería mayor a 20 años.

De igual forma si disminuyeran los costos de los elementos que componen el sistema fotovoltaico, el estudio de factibilidad tendría una viabilidad o rentabilidad mejor a la que se calculó anteriormente, porque el tiempo de recuperación de la inversión sería menor al establecido.

Tabla 5. Análisis de Sensibilidad [Autor]

Análisis de Sensibilidad			
	Optimista	Normal	Pesimista
VAN	554194	50215	-1051737
TIR	19%	13%	-7%
PAYBACK	8 años	17 años	45 años

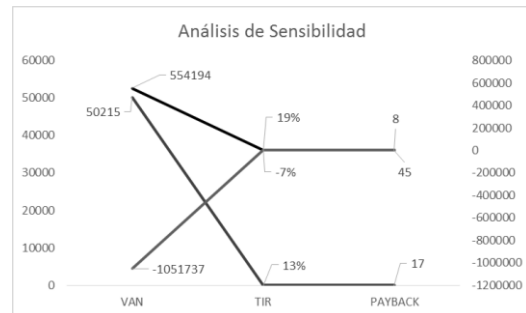


Figura 3. Análisis de sensibilidad [Autor]

5. Conclusiones

La durabilidad de las luminarias led, tiene mayor ventaja en relación a los otros tipos de luminarias existentes, porque su tiempo de vida útil es mayor a las 50000 horas, además su luminancia es mejor que la de las otras luminarias, ya que permiten una mejor visión para el ser humano por la mejor reproducción de colores.

El uso de luminarias led y alimentación solar fotovoltaica, permite eliminar la contaminación ambiental que es producida por otro tipo de luminarias, como son las luminarias de vapor de mercurio y vapor de sodio.

Los costos de mantenimiento de las luminarias led son reducidos en comparación con otro tipo de luminarias.

Las luminarias led permiten tener una mejor eficiencia energética, porque no se tiene pérdidas de energía, como las que se tiene con la iluminación tradicional.

Con base en el estudio realizado, se puede concluir que el comportamiento

de la radiación solar es apto para la implementación de un sistema fotovoltaico.

Se puede apreciar que desde el punto de vista financiero del proyecto, el tiempo de recuperación de la inversión es de 17 años, 5 meses y 8 días, que es menor al tiempo de vida útil del sistema fotovoltaico (20 años), por lo tanto este proyecto es viable.

Referencias

- [1] C. Frers, “Una solución a la dependencia energética”, *El Cid* 2009, pp. 1-7
- [2] Corporación para la Investigación Energética, CIE-CONEL, “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, 2008
- [3] ARCONEL, “Plan Maestro de Electrificación 2013-2022: Perspectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano vol. 3”, Quito 2013
- [4] W. Diewald, “Nuevas posibilidades de iluminación con LED”, 2006, pp. 3-5
- [5] Iluminación Inteligente, “Manual de alumbrado público e iluminación exterior con led de alta intensidad”, Colombia 2008
- [6] C. Domínguez, “Uso de los led”. Honduras, 2014 Disponible en: <https://ledupnfm.wordpress.com/us-o-de-los-leds-2/>
- [7] B. Feng, Z. Zhao, Y. Zhang, D. Zhou, L. Yuan, “Intelligent controller for leds lighting systems supplied by batteries”, *IEEE Veh. Power Propuls. Conf. VPPC*, 2008
- [8] A. Haans, Y. de Kort, “Light distribution in dynamic street lighting: to experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape”, *J. Environ Psychol*, vol. 32, no. 4, Dec. 2012, pp. 342-352
- [9] P. Hajje, N. Kanbar, S. Georges, “Case study of using led lamps as energy efficient components”, *Int. Conf. Renew. Energies Dev. Ctries.* no. 1, 2012, pp. 1-6
- [10] United Nations Environment Programme, “Instrumental para transición global a la iluminación eficiente”, 2012
- [11] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, “Eficiencia energética en el sector público”, 2014, Disponible en: <http://ww.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-en-el-sector-publico/>
- [12] J. Muñoz, “Uso eficiente de energía eléctrica en iluminación pública-tecnología led”, Universidad Nacional de Loja, Loja 2013
- [13] Universidad Nacional de Colombia, “Guía didáctica para el buen uso de la energía y alumbrado público exterior”, 2014
- [14] Instituto de Eficiencia Energética de Chile, “Tecnologías de alumbrado público”, 2012, pp. 4-5
- [15] C. Herranz, J. Ollé, F. Jáuregui, “La iluminación con led y el problema de la contaminación lumínica”, 2011
- [16] P. Hernández, “Alumbrado público basado en led: estudio y aplicaciones”, 2010, p. 92
- [17] A. Sayigh, “The led lighting revolution, sustainability, energy and architecture” Chicago, ScienceDirect 2013, pp. 171-194
- [18] P. Hanselaer, K. Smet, L. Roelandts, “Linear led tubes versus fluorescent lamps: an evaluation” *Energy and Buildings*, ScienceDirect 2012, p. 8
- [19] INTELEC, “Conceptos, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos”, Caracas 2005
- [20] N. Chuquín, “Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con

- un relé inteligente (ZELIO)”, Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica del Chimborazo, Riobamba 2011, pp. 70-90
- [21] A. Bejarano, “Diseño de un sistema de generación eléctrica solar para la iluminación externa del modular de la escuela de ingeniería en ecoturismo”, Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba 2011, pp. 64-66
- [22] A. Inguil y H. Espinoza, “Análisis, modelado y validación de un sistema fotovoltaico para el alumbrado vial de la avenida de las Américas”, Tesis previa a la obtención del título de Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca 2014
- [23] M. Pazmiño y L. Cuasapaz, “Cálculo del sistema de electrificación solar para cubrir la demanda de iluminación en un barco turístico en el Archipiélago de Galápagos”, Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil 2011