

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALUMBRADO INTELIGENTE EN ESPOL

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electricidad

Presentado por:

Valeria Maribel Tejena Sojos

Steve Adrián Villao Vera

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

Cada noche sin dormir, cada sacrificio y cada experiencia vivida durante estos años de estudios, culmina en este trabajo que va dedicado a Cecilia y Antonio, mis maravillosos padres que a través del ejemplo, me han enseñado todo sobre la perseverancia y el esfuerzo. A mi hermana Celeste, por ser siempre mi modelo a seguir, y a Mafer, por alegrar mis días; sin ustedes, yo no hubiera logrado llegar hasta aquí. A Gabo, mi mejor amigo, mi novio y mi apoyo incondicional durante todos estos años. Adrián, el coautor de este proyecto y mi amigo, gracias por abrirme las puertas de tu hogar y tenerme paciencia. A todos ustedes, decir gracias es poco para lo mucho que me han dado. Finalmente, gracias a la persona que está leyendo estas palabras, ya que le da sentido a este trabajo.

Valeria Tejena Sojos

Este trabajo se lo dedico a Lili, mi amada esposa, porque con paciencia, sacrificio y mucho amor, me brindó su indispensable apoyo a lo largo de mi carrera. A mi hijo Mateo, que entendió mi ausencia en muchas ocasiones y siempre me dio su cariño. A mi pequeña hija Sofía, que me llena de motivación. A mis padres, por sus enseñanzas de lucha y de ser perseverantes. A mis hermanos, por el ejemplo de superación y palabras de aliento. A mi compañera y amiga Valeria, que supo brindarme incondicionalmente su amistad y su ayuda en todo momento. A mis grandes amigos, Peter, Gabriel y Luis, que estuvieron siempre dándome su apoyo y especialmente a la ingeniera Leonor Vera, mi segunda madre, pilar fundamental en mi vida personal, laboral y académica.

Adrián Villao Vera

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de nuestra carrera universitaria, tuvimos el agrado de conocer a grandes profesionales dedicados a la enseñanza; a todos nuestros profesores, muchas gracias.

En especial a nuestro tutor, el Msc. Héctor Plaza Velez, que con su guía y aportes, nos ayudó a perfeccionar este trabajo. Gracias también al ing. Ángel Blacio, por recibirnos y proporcionarnos la información que necesitábamos. También un agradecimiento a los ingenieros Christian Solano, Max Burneo, Diana Cervantes y Francisco Daza.

Adrián y Valeria

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Valeria Tejena

Steve Villao

EVALUADORES

M.Sc. Fernando Vaca Urbano

PROFESOR DE LA MATERIA

M.Sc. Héctor Plaza Vélez

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La tecnología avanza cada vez con mayor celeridad, brindando una mayor eficiencia en los sistemas donde se implementen. La eficiencia energética se encarga de reducir el consumo eléctrico a la par de brindar beneficios económicos, técnicos y ambientales. La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) posee un sistema de alumbrado anticuado, con luminarias de inducción magnética. Estas luminarias consumen una cantidad innecesaria de energía eléctrica, no satisfacen las necesidades lumínicas del campus y además tienen un sistema de control ineficiente en base a photoceldas, dejando en evidencia la necesidad de un cambio. Por lo cual, a lo largo de este trabajo, se estudia la factibilidad de un Sistema de Alumbrado Inteligente (SAI) en vías públicas, utilizando luminarias LED (Light Emitting Diode) y un sistema de control automático capaz de regular la luz emitida por las luminarias a través de un Controlador Lógico Programable (PLC). La metodología consistió en realizar el levantamiento eléctrico del sistema actual de ESPOL, seguido de un estudio lumínico en DIALUX para la determinación de la potencia necesaria que cubra las necesidades de la vía principal y parqueaderos, para luego diseñar el circuito de control en PLC y el circuito de fuerza. Finalmente, se realizó un análisis comparativo entre el sistema de alumbrado existente, un sistema de alumbrado LED simple y el SAI propuesto, donde se determinó que con un presupuesto de \$134.866,68 dólares americanos, es posible implementar un SAI económicamente rentable, tecnológicamente factible y responsable con el ambiente en los parqueaderos y vía principal de la ESPOL.

Palabras Clave: Alumbrado público, LED, PLC, Control Inteligente.

ABSTRACT

Technology is advancing faster and faster, providing greater efficiency in the systems where they are implemented. Energy efficiency is responsible for reducing electricity consumption while providing economic, technical and environmental benefits. The Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) has an old-fashioned lighting system, with magnetic induction lamps, which consume an unnecessary amount of electrical energy, do not meet the minimum lighting requirements of the campus and also have an inefficient control system based on photocells, revealing the need for a change. Therefore, the aim of this work is to study the feasibility of a Smart Lighting System (SLS) on public roads, using LED luminaires (Light Emitting Diode) and an automatic control system capable of regulating the light emitted by the luminaires through a Programmable Logic Controller (PLC). The methodology used throughout this work consisted of performing the electrical inspection of the current lighting system, followed by a light study in DIALUX for the determination of the power needed to meet the minimum requirements of the main road and parking lots, and then design the PLC control circuit and the force circuit. Finally, a comparative analysis was carried out between the existing lighting system, a simple LED lighting system and the proposed SLS, where it was determined that with a budget of US \$ 134,866.68, it is possible to implement an SLS economically profitable, technologically feasible and responsible for the environment in the parking lots and main road of the ESPOL.

Keywords: Street Lighting, LED, PLC, Smart Control.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	5
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	11
1. Introducción	11
1.1 Descripción del problema	12
1.2 Justificación del problema	12
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo General	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 Marco teórico	13
1.4.1 Eficiencia energética en las luminarias de alumbrado público	14
1.4.2 Tipos de Luminarias para alumbrado público en ESPOL	15
1.4.3 Luminaria led dimerizable	16
1.4.4 Flujo luminoso	17
1.4.5 Rendimiento o eficacia luminosa	17
1.4.6 Intensidad luminosa	17
1.4.7 Iluminancia	18
1.4.8 Luminancia	18

1.4.9	Controles eléctricos.....	18
1.4.10	DIALUX	19
1.4.11	Impacto Ambiental de los sistemas de iluminación	19
1.4.12	Contaminación lumínica	20
1.4.13	Pliego tarifario	21
1.4.14	Normas sobre mínimos de luxes en una zona en Ecuador	21
CAPÍTULO 2.....		26
2.	Metodología	26
2.1	Levantamiento de las luminarias existentes	27
2.1.1	Información de los equipos actuales	27
2.1.2	Estado de los equipos existentes	29
2.2	Planteamiento del sistema propuesto	32
2.2.1	Sistema de fuerza	32
2.2.2	Sistema de control.....	33
2.3	Modelamiento de la propuesta en Dialux.....	33
2.3.1	Modelamiento de la vía principal	35
2.3.2	Modelamiento del parqueadero principal de la FIEC.....	36
2.4	Diseño del circuito de control y fuerza	38
2.4.1	Circuito de control	38
2.4.2	Sistema de fuerza	45
CAPÍTULO 3.....		50
3.	Resultados y Análisis	50
3.1	Diagnóstico del sistema de alumbrado público de la ESPOL	50
3.2	Descripción del SAI propuesto.....	51
3.3	Análisis técnico	52
3.3.1	Aspectos técnicos de luminarias	52

3.3.2	Consumo energético	53
3.4	Análisis económico	56
3.4.1	Inversión inicial.....	56
3.5	Análisis ambiental.....	64
CAPÍTULO 4		66
4.	Conclusiones y Recomendaciones	66
4.1	Conclusiones	66
4.2	Recomendaciones	67
BIBLIOGRAFÍA		68
ANEXOS.....		71

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
LED	Light Emitting Diode
PLC	Programmable Logic Controller
SAI	Sistema de Alumbrado Inteligente
UGR	Unified Glare Rating
AWG	American Wire Gauge
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
BDF	Function Block Diagram
USD	United States Dollars
FGD	Factor de Gestión de Demanda
APU	Análisis de Precio Unitario
VAN	Valor Actual Neto
PR	Periodo de Repago

SIMBOLOGÍA

M	Metro
V	Voltio
A	Amperio
W	Wattios
lm	Lumen
cd	Candela
lx	Lux
Ω	Ohmio
kWh	Kilivatio-hora
VA	Voltios Amperios
CO2	Dióxido de Carbono

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Comparación de parámetros para los distintos tipos de luminaria de alumbrado público [5].....	15
Figura 1.2 Luminarias de vapor de sodio [6].....	15
Figura 1.3 Partes de la lámpara de inducción magnética [7]	16
Figura 1.4 Luminaria dimerizable modelo Shark LED [9].....	16
Figura 1.5 Ciudad con contaminación lumínica [16]	21
Figura 2.1 Diagrama de flujo de la metodología [Autor].....	26
Figura 2.2 Vista satelital del campus “Gustavo Galindo Velasco” [Autor]	27
Figura 2.3 Muestra de luminarias funcionando fuera de horario o sin funcionar en ESPOL. [Autor]	32
Figura 2.4 Dimensiones en metros de la vía principal de ESPOL [Autor]	35
Figura 2.5 Características de los postes de la vía principal de ESPOL [Autor].....	35
Figura 2.6 Modelamiento de la vía principal de ESPOL en Dialux [Autor]	36
Figura 2.7 Modelo del parqueadero de FIEC en Dialux [Autor]	37
Figura 2.8 Área de análisis del parqueadero de FIEC [Autor].....	38
Figura 2.9 Interacción de las luminarias con el entorno [Autor]	38
Figura 2.10 Hora de amanecer en Guayaquil (Ecuador) durante el 2018.....	39
Figura 2.11 Hora de atardecer en Guayaquil (Ecuador) durante el 2018	40
Figura 2.12 Esquema de conexión para el circuito de control [Autor].....	42
Figura 2.13 Programación del PLC ZELIO en lenguaje BDF	44
Figura 2.14 Diagrama unifilar para el alumbrado público de la vía principal y parqueaderos de la ESPOL.....	49
Figura 3.1 Estado de las luminarias de los parqueaderos y vía principal de la ESPOL	50
Figura 3.3 Comparación de toneladas de CO ₂ emitidas por cada hipótesis planteada	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clase de alumbrado para diferentes tipos de vías [17]	22
Tabla 1.2 Luminancia de calzada para tráfico motorizado [17].....	22
Tabla 1.3 Características de superficie [17].....	23
Tabla 1.4 Valores mínimos de iluminancia promedio en vías motorizadas [17].....	24
Tabla 1.5 Parámetros para la selección de la clase de iluminación C [17]	25
Tabla 1.6 Parámetros fotométricos para vías en conflicto [17]	25
Tabla 2.1 Distribución de las luminarias en los parqueaderos	28
Tabla 2.2 Distribución de las luminarias en la vía principal.....	28
Tabla 2.3 Especificaciones técnicas de las luminarias de inducción magnética en ESPOL.....	29
Tabla 2.4 Condiciones en las que se realizó la toma de datos	29
Tabla 2.5 Condiciones de las luminarias en la vía principal al inicio de este estudio.	30
Tabla 2.6 Condiciones de las luminarias en los parqueaderos al inicio de estudio ...	30
Tabla 2.7 Medición de luxes en las luminarias de los parqueaderos	31
Tabla 2.8 Valores de ponderación para el parqueadero de la FIEC	34
Tabla 2.9 Parámetros fotométricos para la vía principal y parqueadero de FIEC.....	34
Tabla 2.10 Valores promedios, mínimo y máximo de amanecer y atardecer	40
Tabla 2.11 Configuración de programación durante todo un año	41
Tabla 2.12 Elementos del tablero de control.....	41
Tabla 2.13 Definición de entradas para el programa de PLC	43
Tabla 2.14 Definición de salidas para el programa de PLC	43
Tabla 2.15 Transformadores existentes para alumbrado público en la ESPOL.....	45
Tabla 2.16 Características eléctricas de los equipos de fuerza	46
Tabla 2.17 Características eléctricas de los equipos de control	46
Tabla 3.1 Parámetros eléctricos obtenidos para una luminaria al azar de la ESPOL	50
Tabla 3.2 Descripción del SAI propuesto.....	51
Tabla 3.3 Comparativa técnica de las luminarias.....	52
Tabla 3.4 Cálculo de potencia y energía anual para las luminarias de inducción magnética	53

Tabla 3.5 Cálculo de potencia y energía anual para las luminarias propuestas (LED)	54
Tabla 3.6 Cálculo de potencia y energía anual para las luminarias propuestas (LED) sin considerar el control de dimerización	55
Tabla 3.7 Comparación de consumo energético de las hipótesis planteadas	55
Tabla 3.8 Análisis de precio unitario para la luminaria LED de 60 W.....	56
Tabla 3.9 Análisis de precio unitario para la luminaria LED de 90 W.....	57
Tabla 3.10 Análisis de precio unitario para el sistema de control propuesto	58
Tabla 3.11 Inversión inicial para el SAI propuesto	59
Tabla 3.12 Presupuesto inicial para sistema de alumbrado con luminarias LEDs	59
Tabla 3.13 Análisis de precios unitarios para la luminaria de inducción magnética... <td>60</td>	60
Tabla 3.14 Presupuesto para la luminaria del tipo inducción magnética	61
Tabla 3.15 Comparación económica entre el SAI propuesto y las luminarias de inducción magnética	63
Tabla 3.16 Comparación económica entre el SAI propuesto y un sistema de alumbrado con luminarias LED sin dimerizar.....	64

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Hace más de 50 años en Estados Unidos, el primer Diodo Emisor de Luz (LED) fue creado. Desde entonces, esta tecnología se ha ido desarrollando de tal manera que hoy en día es la más eficiente entre sus competidores, llegando a proporcionar hasta un 80% de ahorro de energía en la instalación donde se implementa [1].

Las nuevas tecnologías generalmente van a la par de la eficiencia energética. La eficiencia constituye uno de los principales objetivos para los grandes y pequeños consumidores, porque minimiza el consumo de energía eléctrica contribuyendo con la sostenibilidad del planeta.

En este sentido, el sistema de alumbrado público en Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) precisa pasar por un proceso de modernización y de repotenciación energética, debido a que se ha evidenciado las siguientes situaciones:

- I. Luminarias funcionando fuera de horario.
- II. Lámparas en mal estado o con baja intensidad lumínica.
- III. Poca seguridad vial en determinadas zonas.

El propósito de este proyecto es encontrar la alternativa con mayor eficiencia energética posible, analizando el uso de luminarias con tecnología LED dimerizable, ya que permite regular la cantidad de luz emitida a través de un Controlador Lógico Programable (PLC). Todo esto con el objetivo de responder, al final de esta investigación, la siguiente interrogante: ¿Qué tan factible resulta implementar un Sistema de Alumbrado Inteligente (SAI) dentro de ESPOL?

1.1 Descripción del problema

La Escuela Superior Politécnica del Litoral, ubicada en Guayaquil - Ecuador, no está a la vanguardia de la tecnología, puesto que presenta luminarias de inducción magnética y vapor de sodio, poco eficientes y contaminantes, que han llegado al final de su vida útil.

Además, el sistema de encendido y apagado que se posee actualmente ha evidenciado ser poco fiable, debido a que se puede observar luminarias funcionando fuera de horario o, en el peor de los casos, sin funcionar.

1.2 Justificación del problema

La innovación es una de las principales características de ESPOL, por lo que surge la necesidad de analizar la factibilidad de evolucionar el sistema de alumbrado público que maximice la eficiencia energética dentro del campus.

Existe una serie de factores que pueden ser considerados para mejorar el sistema de alumbrado público. La seguridad vial es uno de ellos, puesto que existe un número considerable de luminarias que no se encuentran en funcionamiento.

Así mismo, el control de encendido y apagado que posee el sistema de alumbrado público en base de fotocélulas, es vulnerable a factores ambientales no controlables, que ocasionan una energización indebida fuera de horario. Esto conlleva a un mayor consumo de energía eléctrica y a una reducción considerable del tiempo de vida útil de la luminaria.

Las problemáticas planteadas en párrafos anteriores pueden ser tratadas mediante la implementación de un sistema de alumbrado inteligente a través de luminarias LED dimerizables, que garanticen proporcionar la luminosidad adecuada en las vías públicas y parqueaderos, a la par de lograr reducir el consumo de energía eléctrica y el impacto ambiental.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Estudiar la factibilidad de un sistema de alumbrado inteligente en vías públicas, para la maximización del rendimiento de los equipos, minimización del consumo de energía eléctrica, reducción del impacto ambiental y el mejoramiento de la seguridad vial.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar los diversos elementos que conforman el sistema de alumbrado público en los parqueaderos y vía principal de ESPOL para la determinación del estado de las luminarias.
2. Diseñar el nuevo sistema de iluminación, en una zona previamente definida mediante el uso de dispositivos LED dimerizables y el software DIALUX.
3. Desarrollar el circuito de control del PLC para las luminarias LED.
4. Establecer un análisis comparativo entre el modelo actual y el modelo propuesto en aspecto económico, técnico y ambiental, obteniendo la factibilidad de este proyecto.

1.4 Marco teórico

En 2009, el pequeño pueblo de Torraca, ubicado al sur de Italia, se convirtió en la primera ciudad con alumbrado público 100% LED. Desde entonces, grandes y pequeñas ciudades, atraídas por los diversos beneficios que esta tecnología ofrece, han optado por instalar luminarias LED en lugar de las convencionales [2].

Sin embargo, no fue hasta 2010 en que la ciudad de Cambridge (Massachusetts, Estados Unidos) decidió dar un paso más allá y transformar para siempre la manera en que sus calles se iluminan. Esta ciudad, caracterizada por albergar dos de las mejores universidades del mundo,

incorporó en sus vías un sistema de iluminación dimerizable; es decir, el porcentaje de luz emitido por las luminarias depende de diversos factores, tales como: condiciones ambientales, hora del día, barrio específico y área urbana [3].

Este proyecto fue calificado como “extremadamente exitoso”, puesto que se \$500.000,00 al obtuvieron grandes beneficios económicos y sociales. En cuanto a los beneficios económicos, se logró reducir el consumo de energía por alumbrado público en un 80%, representado un ahorro de aproximadamente año. Por otro lado, en cuanto a lo social se refiere, los habitantes de Cambridge expresaron un mayor nivel de confort al tener la intensidad de luz al 30% después de las 8:00 pm [3].

En el presente trabajo se estudiará la factibilidad de implementar un SAI dimerizable en ESPOL, controlado a través de un PLC. Para ello, se utilizarán términos como: eficiencia energética, tipos de luminarias, DIALUX, ZELIO, pliego tarifario y normas de seguridad, cuyas definiciones, bajo el contexto de esta investigación, se muestran a continuación.

1.4.1 Eficiencia energética en las luminarias de alumbrado público

La eficiencia energética es el conjunto de acciones que se toman, ya sea a través de hábitos de consumo o de la implementación de nuevas tecnologías, para reducir al máximo las pérdidas relacionadas al proceso del uso de la energía; con el objetivo de ahorrar recursos y ayudar a la sostenibilidad del planeta [4].

Existen una gran variedad de tipos de luminaria para alumbrado público que han sido sometidas a estudios a lo largo de los años, dando como resultado los parámetros mostrados en la Figura 1.1.

	LED	HID	Induction lighting		
		High pressure sodium (HPS)	Metal halide (MH)	Mercury vapor (MV)	
Efficacy (lumen/W)	70–150	50–130	65–115	24–60	70–100+
CRI (%)	85–95	20–25	65–90	40–50	80–85
Life (h)	50,000–100,000	7500–24,000+	5000–20,000+	12,000–24,000+	60,000–100,000
Warm-up time	Instantaneous	3–4 min	2–5 min	5–7 min	Instantaneous, 75–80% output
Re-strike time	Instantaneous	0.5–1 min	10–20 min	3–6 min	Instantaneous
Mercury (mg)	0 mg	10–50 mg	10–1000 mg	10–1000 mg	Present but unspecified qty

Figura 1.1 Comparación de parámetros para los distintos tipos de luminaria de alumbrado público [5].

Uno de los principales aspectos al momento de elegir un tipo u otro, es la eficiencia, ya que esta relaciona la cantidad de luz que puede llegar a emitir con la potencia.

1.4.2 Tipos de Luminarias para alumbrado público en ESPOL

Lámparas de vapor de sodio

Existen dos tipos de lámparas de vapor de sodio, la de baja presión y alta presión. Las de baja presión produce su descarga luminosa en un tubo de vidrio con forma de U, el mismo que contiene sodio y gas neón.

Las luminarias de vapor de sodio de alta presión realizan su descarga en un tubo de cerámica de aluminio transparente, el cual puede llegar a alcanzar una temperatura de 1000 °C. En la Figura 1.2 se puede observar las partes que componen la luminaria de sodio de alta presión.



Figura 1.2 Luminarias de vapor de sodio [6].

Lámparas de inducción magnética

Este tipo de luminaria es el más usado en las vías y parqueaderos de la ESPOL. Producen luz en una ampolla de vidrio con vapor de mercurio en su interior a baja presión. Dentro de la bombilla existe una bobina que debe ser alimentada en alta frecuencia, por lo que es necesario un circuito electrónico con estas características. Dichas luminarias poseen una vida útil de hasta 60.000 horas [6].

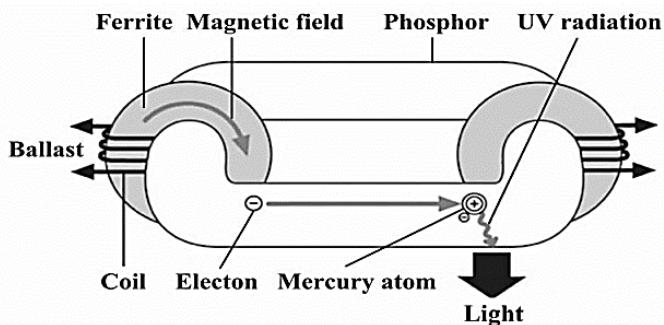


Figura 1.3 Partes de la lámpara de inducción magnética [7].

1.4.3 Luminaria led dimerizable

Es una fuente lumínica que posee la característica especial de controlar la intensidad de la luz emitida a través de un dispositivo conocido como “driver”. Cabe recalcar que las luminarias de este tipo son construidas especialmente para ser regulables, es decir, no todas las luminarias LED pueden ser dimerizable[8].



Figura 1.4 Luminaria dimerizable modelo Shark LED[9]

La ventaja de utilizar una luminaria LED regulable, es que no siempre trabaja al 100% de su capacidad máxima, reduciendo así el consumo eléctrico. Además, dicha característica también conlleva a prolongar su vida útil y a disminuir los costos por mantenimiento [8].

1.4.4 Flujo luminoso

Es la cantidad de luz emitida por una fuente en todas las direcciones, o también podemos decir que es la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa [10].

Símbolo: ϕ (phi)

Unidad de medida: Lumen (lm)

1.4.5 Rendimiento o eficacia luminosa

Es la relación existente entre el flujo luminoso y la potencia absorbida [10].

Símbolo: η (eta)

Unidad de medida: lm/W

1.4.6 Intensidad luminosa

Es la intensidad del flujo luminoso proyectado en una dirección determinada. Y contenida en un ángulo sólido de 1 estereorradián (w). La candela se define como la intensidad luminosa de una fuente puntual, que emite un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradián [10].

Símbolo: I

Unidad de medida: candela (cd)

1.4.7 Iluminancia

Es el flujo luminoso que recibe una superficie determinada. Relaciona el flujo luminoso que recibe la superficie con su extensión [10].

Símbolo: E

Unidad de medida: Lux

Se define como un lux a la iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe, distribuido de manera uniforme, un flujo luminoso de un lumen [10].

1.4.8 Luminancia

Es la intensidad luminosa emitida en una dirección dada por una superficie luminosa (directa) o iluminada (indirecta). La relacionamos con el efecto de brillo que una superficie produce en el ojo [10].

Símbolo: L

Unidad de medida: cd/ m²

1.4.9 Controles eléctricos

Los sistemas de control son aquellos que permiten el encendido, apagado y gobierno de dispositivos eléctricos y electrónicos. Un PLC constituye un sistema de control, ya que se define como: “un instrumento electrónico que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos” [11].

En cuanto al control de alumbrado público se refiere, el más aplicado a nivel nacional es un sistema on/off de simple conmutación por medio de fotoceldas o foto-controladores. Los fotocontroladores son elementos que trabajan con luz, es decir que su sistema de acción depende de la luz que

llegue a su dispositivo sensor, realizando así el movimiento de contactos que permiten la conexión y/o desconexión de un circuito [12].

1.4.10 DIALUX

El software DIALux es un programa gratuito que permite realizar diseños de instalaciones de iluminación tanto interior como exterior, además permite trabajar en conjunto con el software 0AUTOCAD facilitando el proceso de diseño, visualizar en gráficos tridimensionales los diagramas polares de la distribución luminosa de las luminarias utilizadas, representar gráficamente por medio de colores y líneas los niveles de iluminancia en la edificación, calcular los niveles de deslumbramiento o UGR, etc [13].

Dialux es capaz de modelar sus luminarias mediante catálogos que son facilitados por los fabricantes de las lámparas; con esta herramienta basta la selección del tipo de instalación a realizar, ya sea comercial, residencial o industrial y se mostrarán diversas luminarias con su información luminotécnicos [13].

1.4.11 Impacto Ambiental de los sistemas de iluminación

La energía eléctrica está estrechamente relacionada con los problemas medioambientales, sobre todo cuando es producida utilizando combustibles fósiles, pero también si se genera a través de centrales hidroeléctricas o nucleares [14].

Los sistemas de iluminación contribuyen a la contaminación con desechos propios de sus elementos, ya que las bombillas poseen (a excepción de las incandescentes) componentes nocivos como el mercurio, un metal pesado y tóxico. Año a año, millones de estas lámparas de descarga son

arrojados a basureros (más aún cuando su ampolla es destruida) produciendo gran contaminación de los ecosistemas, perjudicando la salud humana y de otros seres vivos. Las bombillas de mercurio alta presión utilizadas en alumbrado público son las que contienen mayor cantidad de mercurio, pero paulatinamente han sido cambiadas por sistemas más eficientes como son las de sodio alta presión que también lo poseen, pero en menor cantidad [15].

1.4.12 Contaminación lumínica

Existen dos tipos de contaminación lumínica:

1. La intrusión lumínica: es provocada por luz que se encuentra dispersa y no puede ser controlada por los perjudicados, tal como el haz de luz del alumbrado público que ingresa por las ventanas de los hogares. Esta distracción visual tiene consecuencias como la desorientación visual de conductores, impedimento del descanso, pérdida de privacidad y deterioro del paisaje nocturno [14].
2. El Velo astronómico: es la emisión de luz hacia el cielo, que se origina directamente por radiación de luz en el hemisferio superior de las luminarias, e indirectamente por la reflexión de la luz en superficies iluminadas, que se difunden en la atmósfera hacia el firmamento causando el resplandor del cielo nocturno [14].



Figura 1.5 Ciudad con contaminación lumínica [16]

1.4.13 Pliego tarifario

Si de ahorro en la planilla eléctrica se trata, es esencial conocer la estructura tarifaria a la cual es sujeta el objeto de estudio. La Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) establece el cargo tarifario dependiendo de dos categorías: características del consumidor y características del punto de entrega. En las características del consumidor, se tiene: residencial y general; en lo que se refiere a las características del punto de entrega, se establecen tres niveles: bajo, medio y alto voltaje [16].

La ESPOL se encuentra dentro de la categoría “general”, como una “entidad de beneficio público”. Esta identificación comprende a las guarderías, escuelas, colegios, universidades, instituciones similares del Estado, entre otros. En cuanto a las características del punto de entrega, la ESPOL se encuentra dentro del nivel medio ($0,6 \text{ kV} \leq \text{NM} \leq 40 \text{ kV}$). En el **ANEXO A** se detallan los precios a los que se rige ESPOL por su tipo de tarifa [16].

1.4.14 Normas sobre mínimos de luxes en una zona en Ecuador

En Ecuador existe la resolución Nro. ARCONEL-054/18, la cual tiene como objetivo normar las condiciones técnicas que permiten a las

empresas eléctricas prestar el servicio de alumbrado público con calidad y eficiencia [17].

La norma indica que el tipo de iluminación en las vías para tráfico motorizado puede clasificarse como se observa en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Clase de alumbrado para diferentes tipos de vías [17]

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 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

Para cada clase de iluminación existe una serie de parámetros fotométricos mínimos que se deben cumplir para satisfacer sus requerimientos visuales, los cuales se muestran en la Tabla 1.2

Tabla 1.2 Luminancia de calzada para tráfico motorizado [17]

Clase de Iluminación	Campo de Aplicación				
	Todas las Vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con aceras no iluminadas para clases P1 a P4
	Luminancia promedio L_{prom} (cd/m ²) Mínimo mantenido	Factor de uniformidad Uo Mínimo	TI% Máxima inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U _L Mínimo	Relación de entorno SR Mínima
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

La iluminancia promedio se la determina dependiendo de las características de la superficie de la vía, tipificadas como se muestra en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Características de superficie [17]

Clase	Características de la superficie
R1	-Superficies de asfalto con un mínimo del 15 % de materiales reflectivos o materiales artificiales claros o al menos un 30 % de anortositas muy brillantes; -Superficies que contienen gravas que cubren más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro, o reflectivos o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes; -Superficies de calzada de hormigón de concreto.
R2	-Superficies con textura rugosa que contienen agregados normales; -Superficies asfálticas (pavimentos bituminosos que contienen el 10% al 15% de abrilladores artificiales; -Hormigón bituminoso grueso y rugoso, rico en gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10 mm; -Asfalto mástico después de ser tratado. Se conoce también como asfalto mástico en estado nuevo.
R3	-Revestimiento en Hormigón (asfalto frío, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm, con textura rugosa; -Superficies tratadas con textura rugosa pero pulimentada.
R4	-Asfalto mástico después de varios meses de uso; -Superficies con textura bastante suave o pulimentada.

Una vez determinado el tipo de vía, se puede obtener el valor promedio de iluminancia de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4 Valores mínimos de iluminancia promedio en vías motorizadas [17]

Clase de Iluminación	Valor promedio (mínimo a mantener) de iluminancia según tipo de superficie de la vía (lx)			Uniformidad de la Iluminancia $E_{\min}/ E_{\text{prom}} (\%)$
	R1	R2 y R3	R4	
M3	12	17	15	34%
M4	8	12	10	25%
M5	6	9	8	18%

Así mismo, existen espacios denominados como “vías en conflicto”, que se producen cuando los vehículos se cruzan entre sí o se dirigen hacia lugares frecuentados por peatones, ciclistas, etc. El tipo de iluminación para esta clase de vía se determina con la Ecuación (3.2).

$$C = 6 - \sum V_{ps} \quad (1.1)$$

Donde:

C :va de 0 a 5 y corresponde a las clases de iluminación desde C0 a C5, respectivamente.

$\sum V_{ps}$:es el sumatorio de los parámetros seleccionados en función de la Tabla 1.5

Tabla 1.5 Parámetros para la selección de la clase de iluminación C [17]

Parámetro	Opciones	Valor de Ponderación (Vps)
Velocidad	Elevado	3
	Alto	2
	Moderado	1
	Bajo	0
Volumen del Tráfico	Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Bajo	-0,5
	Muy Bajo	-1
Composición de Tráfico	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2
	Mezclado	1
	Solamente motorizado	0
Separación de vías	No	1
	Si	0
Iluminación Ambiental	Alta	1
	Moderada	0
	Baja	-1
Guías Visuales	Pobre	0,5
	Moderado o bueno	0

Los parámetros fotométricos para estas zonas en conflicto se muestran en la Tabla 1.6

Tabla 1.6 Parámetros fotométricos para vías en conflicto [17]

Clases de Iluminación	Iluminancia Promedio E (lx)	Uniformidad de la Iluminancia	Incremento de Umbral (%)	
			Uo (E)	Moderada y Alta Velocidad
C0	50	0,4	10	15
	30		10	15
	20		10	15
	15		15	20
	10		15	20
	7,5		15	25

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El primer paso consiste en la identificación de los elementos del sistema actual de alumbrado público y el estado en que se encuentran. Para ello se inspeccionará visualmente el funcionamiento de las luminarias durante el día y la noche, y se tomará medidas del nivel de iluminación (lux) sobre las superficies estudiadas. Además, se realizarán pruebas eléctricas a una luminaria al azar para conocer la potencia que consume y emitir un diagnóstico en base a los resultados obtenidos y opiniones de varios ingenieros eléctricos.

La segunda parte de esta investigación plantea una solución a los problemas cuantificados en el primer paso, para luego, a través de un diseño lumínico en Dialux y un sistema de control autómata que regula la intensidad de luz emitida, evaluar la factibilidad de este nuevo sistema.

En la Figura 2.1 se puede observar los puntos claves para el desarrollo de esta metodología.



Figura 2.1 Diagrama de flujo de la metodología [Autor]

2.1 Levantamiento de las luminarias existentes

2.1.1 Información de los equipos actuales

Esta investigación toma como área de estudio los principales parqueaderos y vías del campus “Gustavo Galindo Velasco” de la ESPOL, delimitados como se muestra en la Figura 2.2.

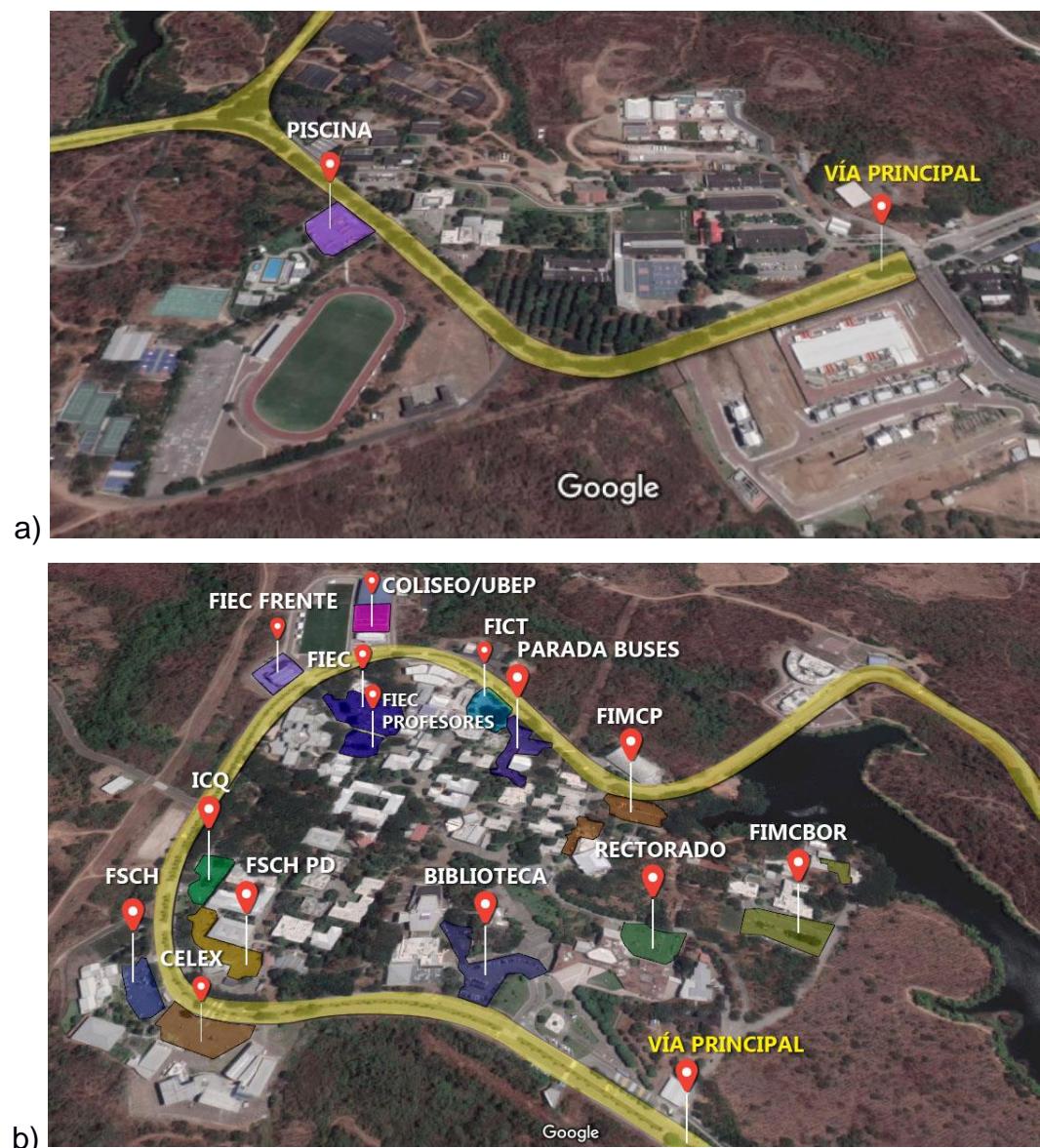


Figura 2.2 Vista satelital del campus “Gustavo Galindo Velasco” [Autor]

(a) Inicio de la vía principal hasta el desvío a la altura de la piscina. (b) Segunda parte del trayecto de la vía principal. Se observa las divisiones de los principales parqueaderos considerados para esta investigación.

A través de planos eléctricos proporcionados por el departamento de mantenimiento de la ESPOL, mostrados en el **ANEXO B**, se contabilizaron las luminarias existentes en la zona de estudio, evidenciando un total de 163 considerando los principales parqueaderos y distribuidas como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Distribución de las luminarias en los parqueaderos

UBICACIÓN	No. DE LUMINARIAS
PISCINA	7
CELEX	4
FSCH	11
FSCH PD	10
ICQ	6
FIEC frente	5
FIEC	24
FIEC PROFESORES	6
FIMCP	10
PARADA DE BUSES	5
FICT	13
COLISEO/UBEP	14
FIMCBOR	21
RECTORADO	21
BIBLIOTECA	6
TOTAL	163

En cuanto a la vía principal, se tiene una constancia de 190 luminarias en total a lo largo del camino, como se muestra en la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Distribución de las luminarias en la vía principal

UBICACIÓN	No. DE LUMINARIAS
VÍA PRINCIPAL - LADO DERECHO	89
VÍA PRINCIPAL - LADO IZQUIERDO	101
TOTAL	190

El sistema actual posee dos tipos de luminarias: vapor de sodio e inducción magnética, sin embargo, la gran mayoría son del segundo tipo.

En la Tabla 2.3 se encuentran las especificaciones técnicas de las lámparas de inducción instaladas al momento de este estudio.

Tabla 2.3 Especificaciones técnicas de las luminarias de inducción magnética en ESPOL

Lámpara de Inducción Magnética	
Modelo	Smart Dragon
Tipo	LVD-LL200W
Lumens [Lm]	16500
Potencia [W]	212
Balasto electrónico	
Tipo	LVD-WJ220/50-200DJF
Voltaje [Vac]	220
Frecuencia [kHz]	210
Corriente [A]	0,98

Los datos mostrados en la tabla anterior se utilizarán posteriormente para el análisis económico.

2.1.2 Estado de los equipos existentes

La toma de datos se realizó bajo las condiciones descritas en la Tabla 2.4. Cabe recalcar que dichas condiciones se rigen a la regulación 006/18 del ARCONEL, donde se establece que para realizar mediciones en luminarias se debe esperar un mínimo de 20 minutos con el fin de estabilizar el flujo de luz [16].

Tabla 2.4Condiciones en las que se realizó la toma de datos

	DÍA	NOCHE
HORA DE INICIO:	15:00:00	19:30:00
CONDICIONES AMBIENTALES:	PARCIALMENTE NUBLADO	DESPEJADO

Mediante un recorrido minucioso a lo largo del campus, y a través de una inspección visual, se identificó que en la vía principal existen

irregularidades en el funcionamiento de las luminarias, como se muestra en la Tabla 2.5

Tabla 2.5 Condiciones de las luminarias en la vía principal al inicio de este estudio

LADO DE LA VÍA	LUMINARIAS ENCENDIDAS DURANTE EL DÍA	LUMINARIAS APAGADAS DURANTE LA NOCHE
DERECHO	2	42
IZQUIERDO	1	49
TOTAL	3	91

De igual manera, para los parqueaderos, se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Condiciones de las luminarias en los parqueaderos al inicio de estudio

UBICACIÓN	LUMINARIAS ENCENDIDAS DURANTE EL DÍA	LUMINARIAS APAGADAS DURANTE LA NOCHE
PISCINA	0	1
CELEX	0	0
FSCH	0	0
FSCH PD	0	0
ICQ	0	1
FIEC NUEVA	3	0
FIEC/FIMCP	11	2
FIEC PROFESORES	6	0
FIMCP	0	3
BUSES	4	2
FICT ARRIBA	3	3
FICT ABAJO	3	3
COLISEO NUEVO UBEP	1	3
FIMCBOR	9	8
RECTORADO ATRÁS	4	7
RECTORADO ADELANTE	3	2
BIBLIOTECA	3	2
TOTAL	50	37

Como se puede observar en la Tabla 2.6, existe un total de 50 luminarias que se encuentran encendidas durante el día y 37 luminarias apagadas durante la noche, con las condiciones ambientales mostradas anteriormente.

De igual forma hay que analizar las condiciones de las luminarias que se encuentran aparentemente en buen estado, obteniendo el promedio de luxes emitidos por las lámparas como se muestra en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Medición de luxes en las luminarias de los parqueaderos

UBICACIÓN	LUXES
PISCINA	4,46
CELEX	2,57
FSCH	6,46
FSCH PD	7,26
ICQ	39,36
FIEC NUEVA	18,9
FIEC/FIMCP	19,6
FIEC PROFESORES	19,6
FIMCP	7,26
BUSES	4,87
FICT ARRIBA	2,95
FICT ABAJO	1,01
COLISEO NUEVO UBEP	42,8
FIMCBOR	10,78
RECTORADO ATRÁS	9,9
RECTORADO ADELANTE	1,1
BIBLIOTECA	1,01

En la Figura 2.3 se muestra algunas de las luminarias funcionando durante el día o apagadas durante la noche en los parqueaderos y vía principal.



Figura 2.3 Muestra de luminarias funcionando fuera de horario o sin funcionar en ESPOL. [Autor]

2.2 Planteamiento del sistema propuesto

Todo sistema eléctrico se puede dividir en dos partes: sistema de control y sistema de fuerza. El sistema de control comprende todos los dispositivos encargados del gobierno, encendido y apagado de los equipos de fuerza. Los elementos de fuerza son aquellos encargados de realizar un trabajo en función del tiempo según lo ordene el sistema de control.

2.2.1 Planteamiento del sistema de fuerza

La hipótesis en la cual se basa este estudio consiste en combinar el modelo más eficiente de luminaria en la actualidad con un sistema de control autómata, de tal manera que logre regular la intensidad de luz emitida por las mismas en franjas horarias previamente definidas, disminuyendo considerablemente el consumo de energía eléctrica. La línea SHARK LED de Sylvania cumple con las características necesarias para probar la hipótesis planeada, ya que es una luminaria para alumbrado público con alta eficiencia lumínica y controlador dimerizable [18].

2.2.2 Planteamiento del sistema de control

La dimerización de una luminaria se lo hace a través de su controlador (driver). Para el caso de la línea SHARK LED, el driver que posee es de la marca INVENTRONICS, el cual puede ser controlado de las siguientes maneras:

- Fuente de voltaje de 0-10 [V]
- Resistencia variable
- Resistencia constante
- A máxima capacidad (sin dimerización)

Se determinó que, para probar la hipótesis manejada en este proyecto, es necesario controlar la dimerización de la luminaria a través de una señal de voltaje de 0-10 [V].

El porcentaje de luz emitido por la luminaria dependerá de factores como: estación climática, día de la semana y hora del día. Un PLC con los bloques de función necesarios para realizar la programación requerida es el de la marca ZELIO, que, además, mediante una extensión analógica, es capaz de emitir la señal de voltaje necesaria para controlar el driver.

2.3 Modelamiento de la propuesta en Dialux

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, se puede describir a la avenida principal de la ESPOL como una vía que proporciona acceso a propiedades y conduce a conexiones de carretera, con un buen control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía; por tanto, según la Tabla 1.1, el tipo de iluminación se establece como M5. Además, la característica superficial que posee es de clase R3, según lo dispuesto en la Tabla 1.3.

A los parqueaderos se los define como “vía en conflicto”, ya que en estos espacios existen vehículos cruzándose entre sí o dirigiéndose hacia lugares frecuentados por peatones, ciclistas, etc. Para este estudio, se tomará como referencia específicamente el parqueadero principal de la FIEC, el cual posee los parámetros establecidos en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Valores de ponderación para el parqueadero de la FIEC

Parámetro	Opciones	Valor de Ponderación (Vps)
Velocidad	Bajo	0
Volumen del Tráfico	Moderado	0
Composición de Tráfico	Mezclado	1
Separación de vías	Si	0
Iluminación Ambiental	Alta	1
Guías Visuales	Pobre	0,5
Sumatoria de Vps		2,5

La sumatoria de los parámetros mencionados anteriormente es 2.5, por tanto, reemplazando en la ecuación (3.2), se obtiene una clase C3.

Establecer la clase de iluminación de cada espacio de estudio sirve para obtener los parámetros fotométricos mínimos a cumplir, según lo establecido por la ARCONEL. Dichos estándares se muestran en la Tabla 2.9 y servirán de guía para dimensionar la potencia de la luminaria a elegir.

Tabla 2.9 Parámetros fotométricos para la vía principal y parqueadero de FIEC.

Clases de Iluminación	Iluminancia Promedio E (lx)	Uniformidad de la Iluminancia Uo (E)	Incremento de Umbral (%)		Uniformidad de la Iluminancia $E_{\min}/E_{\text{prom}} (%)$
			Moderada y Alta Velocidad	Baja y muy baja velocidad	
C3	15	0,4	15	20	-
M5	9	-	-	-	25%

2.3.1 Modelamiento de la vía principal

La vía principal de la ESPOL posee dos calles: una avenida de entrada y otra de salida, cada una con dos carriles y separadas por un camino peatonal, cuyas medidas se observan en la Figura 2.4.

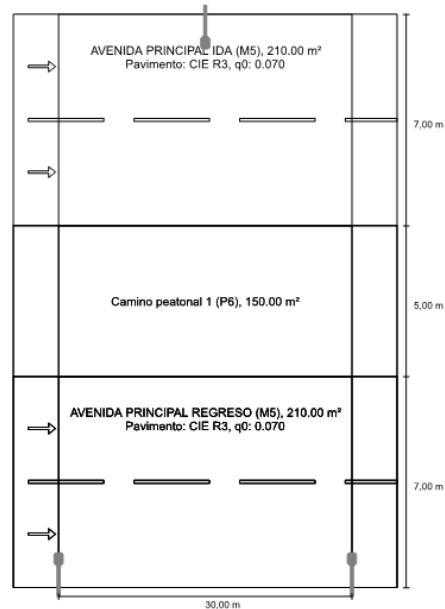


Figura 2.4 Dimensiones en metros de la vía principal de ESPOL [Autor]

Los postes se encuentran con una disposición bilateral en alternancia y con las características que se muestran en la Figura 2.5.

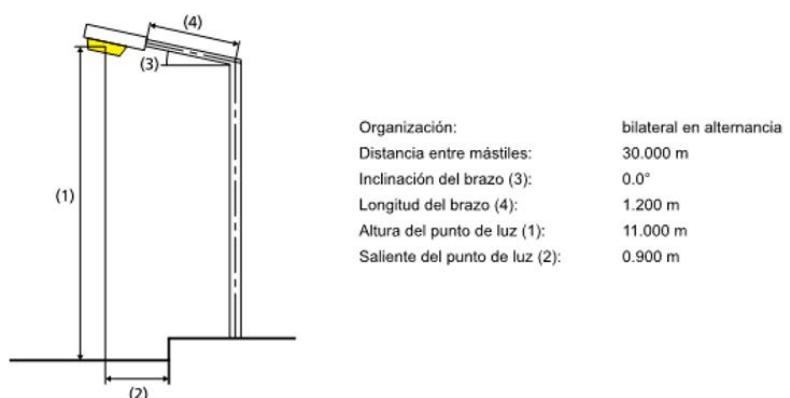


Figura 2.5 Características de los postes de la vía principal de ESPOL [Autor]

Finalmente, el modelo de la vía principal es el que se muestra en la Figura 2.6.



Figura 2.6 Modelamiento de la vía principal de ESPOL en Dialux [Autor]

Luego de simular con luminarias de diferentes potencias, se determinó que la Shark LED de 90 watts a diferentes porcentajes de dimerización cumple con los parámetros fotométricos establecidos en la Tabla 2.9.

2.3.2 Modelamiento del parqueadero principal de la FIEC.

El modelo se realizó en base a los planos de Autocad otorgados por el departamento de mantenimiento de ESPOL, por tanto, posee exactitud geométrica, como se observa en la Figura 2.7, donde se compara, desde la misma perspectiva, una foto real del parqueadero con el diseño en Dialux.



Figura 2.7 Modelo del parqueadero de FIEC en Dialux [Autor]

Se determinó el área de análisis como se muestra en la Figura 2.8 y posteriormente se simuló el modelo con luminarias de diferentes capacidades, siendo la lámpara Shark LED de 60 watts con varios porcentajes de dimerización, la que cumple con los parámetros fotométricos mostrados en la Tabla 2.9.



Figura 2.8 Área de análisis del parqueadero de FIEC [Autor]

Dialux, además de proporcionar parámetros fotométricos del diseño realizado, es capaz de mostrar el comportamiento de la luz emitida por la luminaria y su interacción con el entorno, como se observa en la Figura 2.9.

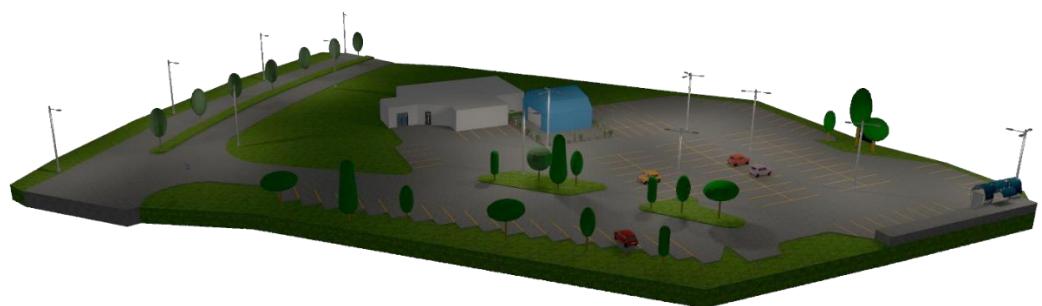


Figura 2.9 Interacción de las luminarias con el entorno [Autor]

2.4 Diseño del circuito de control y fuerza

2.4.1 Circuito de control

Con el objetivo de probar la hipótesis mencionada anteriormente, es necesario determinar la dimerización en diferentes tipos de horarios

durante el día. Para esto es indispensable saber diferentes factores como: el inicio de las estaciones climáticas y la hora en la que empieza a oscurecer o a amanecer.

2.4.1.1 Cronograma de programación

La ciudad de Guayaquil tiene dos estaciones: invierno y verano. Generalmente el verano comienza en enero y termina en mayo, mientras que el invierno comprende desde junio hasta diciembre [19].

El histórico de datos durante el 2018 para el amanecer se muestra en la Figura 2.10.



Figura 2.10 Hora de amanecer en Guayaquil (Ecuador) durante el 2018

En cuanto al atardecer, el histórico de datos para el 2018 se muestra en la Figura 2.11.

Atardecer durante 2018



Figura 2.11 Hora de atardecer en Guayaquil (Ecuador) durante el 2018

El resumen de los datos mostrados en gráficas anteriores se muestra en la Tabla 2.10. Se escogerán valores promedios para definir los horarios de dimerización.

Tabla 2.10 Valores promedios, mínimo y máximo de amanecer y atardecer

ESTACIÓN	HISTÓRICO DE DATOS DURANTE EL 2018			
	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	
INVIERNO	AMANECER	6:22:19	6:16:00	6:29:00
	ATARDECER	18:29:33	18:17:00	18:40:00
VERANO	AMANECER	6:13:14	5:58:00	6:26:00
	ATARDECER	18:19:47	18:10:00	18:31:00

A partir de los datos mostrados, se concluye que la mejor configuración para el encendido, apagado y dimerización de las luminarias, es el que se muestra en la Tabla 2.11.

Como se puede observar, existe una configuración diferente para los días laborales (lunes a viernes) y los fines de semana (sábados y domingos) esto debido a que se registra menor actividad en el campus durante el fin de semana.

Tabla 2.11 Configuración de programación durante todo un año

			LUNES A VIERNES						SÁBADO Y DOMINGO		
INVIERNO	PARÁMETROS	HORA	DESDE	18:30	19:00	23:00	0:00	5:00	6:20	19:00	5:00
			HASTA	19:00	23:00	0:00	5:00	6:20	19:00	5:00	6:20
VERANO	PARÁMETROS	HORA	% DIM	65%	100%	80%	70%	65%	60%	70%	65%
			DESDE	18:20	19:00	23:00	0:00	5:00	6:20	19:00	5:00
			HASTA	19:00	23:00	0:00	5:00	6:10	19:00	5:00	6:10
			% DIM	65%	100%	80%	70%	65%	60%	70%	65%

2.4.1.2 Equipos a Utilizar

Para satisfacer los requerimientos de un sistema de control automático con las configuraciones mostradas en la Tabla 2.11, es necesario disponer de un panel con los elementos descritos en la Tabla 2.12 :

Tabla 2.12 Elementos del tablero de control

Cantidad	Descripción	Ítem
1	Breaker 2 polos 30 [A]	1
1	Fuente conmutada AC – DC de 24 [V]	2
1	Contactor	3
2	Botón pulsador 24 VDC	4
1	Selector de 3 posiciones	5
1	PLC Zelio SR3B101BD	6
1	Extensión analógica SR3XT43BD	7

Los elementos conectados deben ser conectados como se muestra en el esquema de la Figura 2.12.

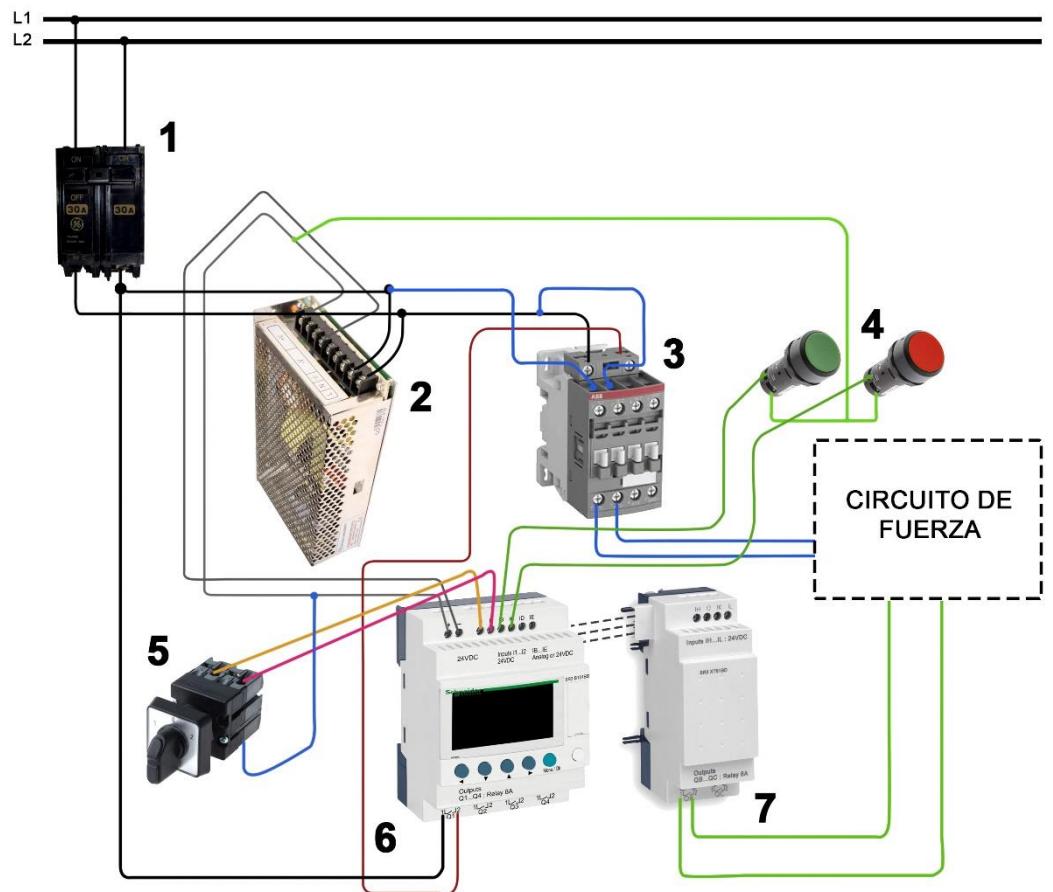


Figura 2.12 Esquema de conexión para el circuito de control [Autor]

2.4.1.3 Programación del PLC

La programación se realizó a través del software gratuito ZELIO SOFT propio del dispositivo, utilizando el lenguaje de bloques funcionales BDF. Al momento de programar un PLC, lo primero que se deben definir son las entradas y salidas, ya que este es el nexo entre los elementos físicos y digitales. En la Tabla 2.13 y Tabla 2.14 se muestra la configuración de las entradas y salidas respectivamente.

Tabla 2.13 Definición de entradas para el programa de PLC

Entradas	Elemento	Función	Símbolo
I1	Selector en Posición [1]	Marcha general	
I2	Selector en Posición [2]	Paro general	
IB	Botonera roja	Marcha de emergencia	
IC	Botonera verde	Paro de emergencia	

Tabla 2.14 Definición de salidas para el programa de PLC

Salidas	Elemento	Función	Símbolo
Q1	Contactor	Salida digital	
QB XT2	Puertos (+/-) dim del driver	Salida analógica 10 bits	

Los elementos digitales que se usaron para la programación son: compuertas lógicas (AND y OR), comparadores, valores constantes, displays y los relojes. Esta última función digital fue la más relevante del diseño, ya que permitió realizar las configuraciones de dimerización para los diferentes horarios determinados en la Tabla 2.11.

En la Figura 2.13 se puede observar el resultado de la programación del PLC ZELIO con los elementos mencionados.

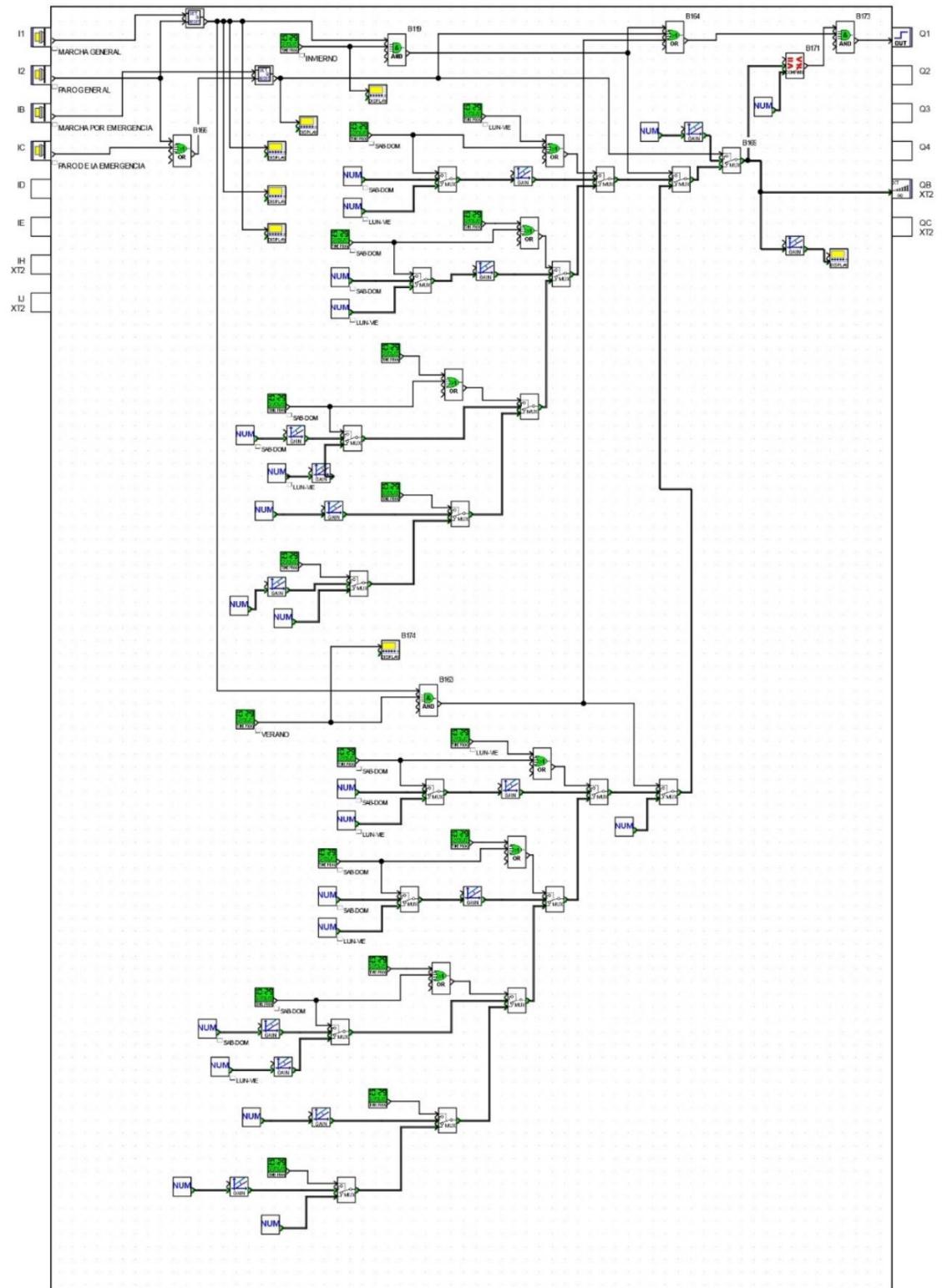


Figura 2.13 Programación del PLC ZELIO en lenguaje BDF [Autor]

2.4.2 Sistema de fuerza

Con el objetivo de reducir los costos de instalación de las luminarias, se plantea la reutilización de los transformadores existentes destinados para el alumbrado público. En la Tabla 2.15 se puede observar los transformadores usados para el alumbrado de la vía principal del campus con sus capacidades.

Tabla 2.15 Transformadores existentes para alumbrado público en la ESPOL

Número	Capacidad [KVA]
1	10
2	15
3	10
4	10
5	10
6	10
7	10
8	10
9	10
10	10
11	10

La cantidad de luminarias conectadas por circuito dependerá de la capacidad del transformador y la extensión analógica del PLC. Se empieza determinando el número de drivers que pueden ser conectados en una sola extensión analógica; esta cantidad, multiplicada por la potencia de la luminaria, determinará la capacidad mínima que debe tener el transformador. Por tanto, hay que considerar las características eléctricas de los equipos, tanto los de fuerza como los de control.

El dimensionamiento de los circuitos se los hará analizando a la luminaria de mayor capacidad, es decir a la de 90 W. De esta manera, el resultado que se obtendrá también va a satisfacer a la luminaria de 60 W.

Tabla 2.16 Características eléctricas de los equipos de fuerza

Características eléctricas		
Transformador		Unidades
Potencia	10	KVA
Potencia a utilizar	7,5	KVA
V max.	240	V
Luminaria		
	Max	Min
Voltaje input	100	277
Potencia	94	W
Corriente input	0,39	A
Conductor		
Calibre	10	AWG
Resistencia	0,00341	Ohm/m

Tabla 2.17 Características eléctricas de los equipos de control

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS		
EXTENSIÓN ANALÓGICA		Unidades
I max	0,01	A
V max	10	V
DRIVER INVENTRONICS		
Imin (Dim: 100%)	0,00036	A
Imax (Dim: 65%)	0,00042	A
CONDUCTOR		
Calibre	20	AWG
Resistencia	0,029527559	Ohm/m
SEPARACIÓN ENTRE LUMINARIAS		
Vano	30	m
VOLTAJE NOMINAL		
	240	V

Como se puede observar en la

Tabla 2.17 la corriente máxima que puede entregar la extensión analógica del PLC es de 0,01 amperios y la corriente máxima que consume el driver de la luminaria es de 0,00029 amperios, por lo tanto, se puede decir que es posible conectar un total de 34 luminarias por circuito. Sin embargo, hay que analizar la caída de tensión que se

produce en los conductores de los drivers en la máxima y mínima dimerización programada para evitar fallas en el diseño, a través de la ecuación (3.2):

$$e = 2 * R * \sum_{i=1}^n L_i * I_i \quad (2.1)$$

Donde:

n: total de luminarias por circuito

e: caída de voltaje en el driver de la luminaria n

R: resistencia del conductor

L: longitud del conductor

I: corriente de la luminaria

Desarrollando la ecuación 2.1 para el caso de máxima dimerización (100%), con los datos de la Tabla 2.17, se tiene:

$$e = 2 * 0,02953 * \sum_{i=1}^{34} L_i * I_i$$

$$e = 2 * 0,02953 * [(30 * 0.00036) + (30 * 0.00036) + \dots + (30 * 0.00036)]$$

$$e = 2 * 0,02953 * 34 * 30 * 0.00036$$

$$e = 0.02169 [V]$$

La caída de tensión en el último driver de la luminaria es de 0,02169 voltios, teniendo así un voltaje en el driver de 9.978 voltios. La caída de tensión en cada luminaria a lo largo del circuito se encuentra en el ANEXO C.

De igual manera se desarrolla la ecuación 2.1 para el caso de mínima dimerización (65%):

$$e = 2 * 0,02953 * \sum_{i=1}^{34} L_i * I_i$$

$$e = 2 * 0,02953 * [(30 * 0,00042) + (30 * 0,00042) + \dots + (30 * 0,00042)]$$

$$e = 2 * 0,02953 * 34 * 30 * 0,00042$$

$$e = 0,0251 [V]$$

La caída de tensión en el último driver de la luminaria para el caso de mínima dimerización es de 0,0251 voltios, teniendo así un voltaje al final del circuito de 6,475 voltios. En el ANEXO D se puede observar los valores de caída de tensión para cada driver de las luminarias.

Por la capacidad del transformador, es posible conectar hasta 87 luminarias. Sin embargo, se debe tomar en cuenta el análisis realizado en párrafos anteriores, donde se establecen hasta 34 luminarias por circuito, limitando la conexión a dos circuitos por transformador. Cabe recalcar que se debe realizar el cálculo de caída de tensión utilizando la ecuación 2.1 para determinar si es posible dicha conexión.

Desarrollando la ecuación 2.1 con los datos de la Tabla 2.16, se tiene:

$$e = 2 * 0,00341 * \sum_{i=1}^{34} L_i * I_i$$

$$e = 2 * 0,00341 * [(30 * 0,39) + (30 * 0,39) + \dots + (30 * 0,39)]$$

$$e = 2 * 0,00341 * 34 * 30 * 0,39$$

$$e = 2,71 [V]$$

La caída de tensión en el último driver de la luminaria es de 2,71 voltios, teniendo así un voltaje en el driver de 237,29 voltios. La caída de tensión en cada luminaria a lo largo del circuito se encuentra en el ANEXO D.

Una vez obtenido la cantidad de circuitos por transformador, se procede a realizar diagrama esquemático, como se observa en la Figura 2.14.

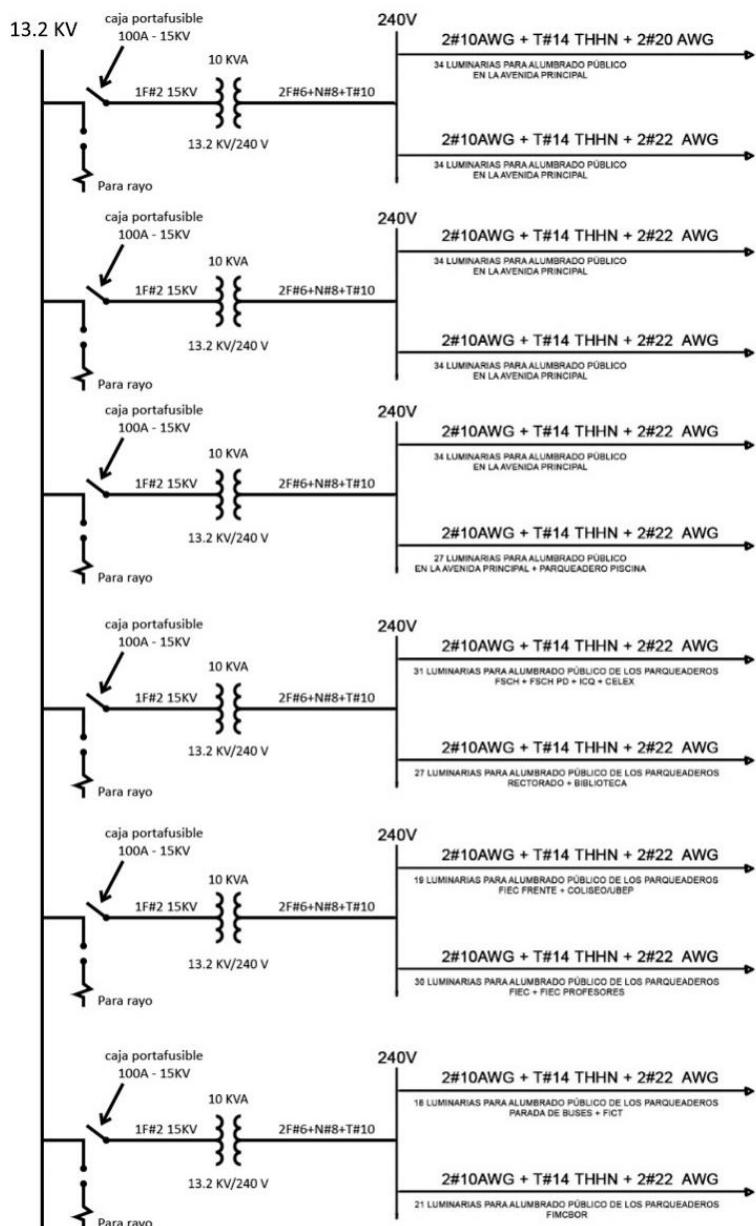


Figura 2.14 Diagrama unifilar para el alumbrado público de la vía principal y parqueaderos de la ESPOL

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Diagnóstico del sistema de alumbrado público de la ESPOL

A través del levantamiento eléctrico realizado en el capítulo 2, se obtuvo la Figura 3.1. Se constató que menos de la mitad del total de las luminarias funcionan normalmente, mientras que el 36% están apagadas durante la noche, representando un peligro para los conductores y peatones; además, el 15% se encuentran encendidas durante todo el día, consumiendo energía de manera innecesaria.

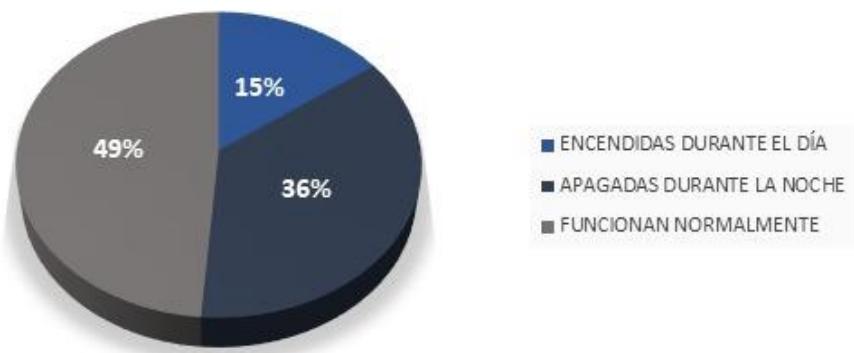


Figura 3.1 Estado de las luminarias de los parqueaderos y vía principal de la ESPOL

Adicionalmente se tomó al alzar una luminaria de inducción magnética de la ESPOL, con el objetivo de conocer su rendimiento al momento de este estudio. Los resultados se reflejan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Parámetros eléctricos obtenidos para una luminaria al azar de la ESPOL

Parámetro eléctrico	Unidades
Potencia	163,9
Voltaje	243
Corriente	0,7

Dichas mediciones fueron obtenidas mediante el uso de un analizador de redes PowerPad 8230 e indican que las luminarias actualmente están consumiendo el 81,95% de su potencia nominal. Sin embargo, la potencia mostrada en la Tabla 3.1 es la que consume toda la luminaria en conjunto, pero no necesariamente es la potencia que consume la lámpara, ya que, al medir la corriente y voltaje emitido por el balasto, se determinó que la potencia consumida por la lámpara es de 96 W. Es decir, las luminarias están emitiendo casi la mitad de los lúmenes para las que fueron fabricadas.

Se socializó los datos obtenidos con el ingeniero eléctrico del departamento de mantenimiento de la ESPOL, quien determinó que esta información es suficiente para concluir que las luminarias deben ser cambiadas. De igual manera, se consultó con varios ingenieros eléctricos de la FIEC, quienes también llegaron a la misma conclusión.

Hasta este punto se ha determinado que el alumbrado público de ESPOL urge de un cambio, por tanto, a continuación, se presenta una comparativa económica, técnica y ambiental de implementar el SAI propuesto o reemplazar las 353 luminarias existentes por unas nuevas con las mismas características.

3.2 Descripción del SAI propuesto

Los elementos necesarios para implementar el SAI propuesto en los parqueaderos y vía principal de ESPOL se detallan en la Tabla 3.2. La descripción “Tableros de control” hace referencia a los elementos de la Tabla 2.12.

Tabla 3.2 Descripción del SAI propuesto

Cantidad	Descripción
190	Luminarias Shark LED de 90 W
163	Luminarias Shark LED de 60 W
12	Tableros de control

3.3 Análisis técnico

3.3.1 Aspectos técnicos de luminarias

No siempre la alternativa más económica es la más conveniente, puesto que existen aspectos técnicos que pueden beneficiar o perjudicar a la luminaria en cuestión. Las características más importantes son las expuestas en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Comparativa técnica de las luminarias

Parámetros	Unidades	Shark LED 60 W	Shark LED 90 W	Luminaria de Inducción Magnética
Potencia	W	60	90	212
Factor de Potencia	-	> 0,95	> 0,95	0,98
THD	%	< 20	< 20	< 10
Flujo útil	lm	6.600	9.900	16.500
Eficacia Luminosa	lm/W	> 110	> 110	77,83
Vida útil	horas	100.000	100.000	100.000

En la Tabla 3.2 se observan las características técnicas de las luminarias propuestas (LED) y las instaladas en el campus (inducción magnética). En base a esta información, se puede decir que tienen características similares; sin embargo, las luminarias LED poseen una mayor eficiencia lumínica en comparación con las luminarias de inducción, implicando un alto flujo luminoso por cada vatio consumido. Además, un estudio publicado en la revista Renewable and Sustainable Energy Reviews recomienda (en base a diversos aspectos técnicos) el uso de luminarias LED [20].

3.3.2 Consumo energético

La ESPOL posee una tarifa a media tensión de beneficio público con demanda horaria, como se muestra en la planilla del ANEXOF. Este tipo de tarifa indica que existen diferentes costos dependiendo de la franja horaria en la que se consume la energía. Además, en cuanto al cálculo de la demanda facturable, la ESPOL posee un Factor de Gestión de Demanda (FGD) de 0,6. Tomando en consideración lo mencionado, se realizó el cálculo de la potencia y energía anual del sistema actual con luminarias de inducción magnética y del SAI propuesto.

Debido a que actualmente se posee un control por fotocélulas, se estimó un promedio de 12 horas de funcionamiento diario para las luminarias de inducción magnética. Para esta opción, se obtuvo un costo anual de la energía \$17.481,69, como se detalla en la Tabla 3.4

Tabla 3.4 Cálculo de potencia y energía anual para las luminarias de inducción magnética

CÁLCULO DE POTENCIA					
Luminaria de tipo: Inducción Magnética					
# de Luminarias					353
Potencia (W)					212
Potencia Total (kW)					74,84
Demanda mensual facturable (2,622 USD/kW)					\$119,53
Factor de Gestión de Demanda					0,6
Demanda facturable anual (USD)					\$1.434,34
CÁLCULO DE ENERGÍA ANUAL					
FRANJA HORARIA	HORAS	DIAS	Costo (Usd/kWh)	Energía anual (kWh)	Costo anual de la Energía (USD)
18:00 - 22:00	4	365	0,06	109.260,56	\$6.555,63
22:00 - 06:00	8	365	0,05	218.521,12	\$10.926,06
TOTAL				327.781,68	\$17.481,69

En cuanto al sistema de LEDs dimerizables que se propone en este proyecto, se estimó un costo anual por energía consumida de \$ 4.841,41, como se detalla en la Tabla 3.4. La distribución de horas para el cálculo de la energía se realizó en base a cuatro factores: franja horaria de dimerización, estación climática, días laborables y fines de semana, como se estableció en la Tabla 2.11. Además, la cantidad de horas fueron designadas considerando que en un año existen 52 semanas.

Tabla 3.5 Cálculo de potencia y energía anual para las luminarias propuestas (LED)

CÁLCULO DE POTENCIA												
							Shark LED 60 W	Shark LED 90 W	TOTAL			
# de Luminarias							163	190		353		
Potencia (W)							60	90		150		
Potencia Total (kW)							9,78	17,1		26,88		
Demanda mensual facturable (2,622 USD/kW)							\$26,03	\$45,52		\$71,55		
Factor de Gestión de Demanda							0,60			-		
Demanda facturable anual (USD)							\$312,41	\$546,24		\$858,65		
CÁLCULO DE ENERGÍA ANUAL												
ESTACIÓN		FRANJA HORARIA	%DIM	HORAS	DIAS	Costo (Usd/kWh)	Energía anual (kWh)	Costo anual de la Energía (USD)	Energía anual (kWh)	Costo anual de la Energía (USD)	Energía anual Total (kWh)	Costo total anual de la Energía (USD)
INVERNO	lun - vie	18:30 - 19:00	65%	0,5	130	0,06	413,21	\$ 24,79	722,48	\$ 43,35	1.135,68	\$ 68,14
		19:00 - 22:00	100%	3	130	0,06	3.814,20	\$ 228,85	6.669,00	\$ 400,14	10.483,20	\$ 628,99
		22:00-23:00	100%	1	130	0,05	1.271,40	\$ 63,57	2.223,00	\$ 111,15	3.494,40	\$ 174,72
		23:00 - 00:00	80%	1	130	0,05	1.017,12	\$ 50,86	1.778,40	\$ 88,92	2.795,52	\$ 139,78
		00:00 - 05:00	70%	5	130	0,05	4.449,90	\$ 222,50	7.780,50	\$ 389,03	12.230,40	\$ 611,52
	sab - dom	05:00 - 6:20	65%	1,33	130	0,05	1.099,13	\$ 54,96	1.921,78	\$ 96,09	3.020,91	\$ 151,05
		18:20 - 19:00	60%	0,67	52	0,06	204,44	\$ 12,27	357,46	\$ 21,45	561,90	\$ 33,71
		19:00 - 22:00	70%	3	52	0,06	1.067,98	\$ 64,08	1.867,32	\$ 112,04	2.935,30	\$ 176,12
		22:00 - 05:00	70%	7	52	0,05	2.491,94	\$ 124,60	4.357,08	\$ 217,85	6.849,02	\$ 342,45
		05:00 - 06:20	65%	1,33	52	0,05	439,65	\$ 21,98	768,71	\$ 38,44	1.208,36	\$ 60,42
VERANO	lun - vie	18:20 - 19:00	65%	0,67	130	0,06	553,69	\$ 33,22	968,12	\$ 58,09	1.521,81	\$ 91,31
		19:00 - 22:00	100%	3	130	0,06	3.814,20	\$ 228,85	6.669,00	\$ 400,14	10.483,20	\$ 628,99
		22:00-23:00	100%	1	130	0,05	1.271,40	\$ 63,57	2.223,00	\$ 111,15	3.494,40	\$ 174,72
		23:00 - 00:00	80%	1	130	0,05	1.017,12	\$ 50,86	1.778,40	\$ 88,92	2.795,52	\$ 139,78
		00:00 - 05:00	70%	5	130	0,05	4.449,90	\$ 222,50	7.780,50	\$ 389,03	12.230,40	\$ 611,52
	sab - dom	05:00 - 6:10	65%	1,17	130	0,05	966,90	\$ 48,34	1.690,59	\$ 84,53	2.657,49	\$ 132,87
		18:20 - 19:00	60%	0,67	52	0,06	204,44	\$ 12,27	357,46	\$ 21,45	561,90	\$ 33,71
		19:00 - 22:00	70%	3	52	0,06	1.067,98	\$ 64,08	1.867,32	\$ 112,04	2.935,30	\$ 176,12
		22:00 - 05:00	70%	7	52	0,05	2.491,94	\$ 124,60	4.357,08	\$ 217,85	6.849,02	\$ 342,45
		05:00 - 06:10	65%	1,17	52	0,05	386,76	\$ 19,34	676,24	\$ 33,81	1.063,00	\$ 53,15
TOTAL											89.306,73	\$ 4.771,52

Como se estableció anteriormente, el sistema propuesto posee un control inteligente capaz de realizar funciones de dimerización de manera automática; sin embargo, para contrastar económicamente la ventaja de implementarlo, se realizó el cálculo de potencia y energía de un sistema LED con las mismas características técnicas en cuanto a luminarias se refiere, sin considerar el sistema de dimerización. Este cálculo se detalla en la Tabla 3.6, obteniéndose un costo anual de energía de \$6.279,17.

Tabla 3.6 Cálculo de potencia y energía anual para las luminarias propuestas (LED) sin considerar el control de dimerización

CÁLCULO DE POTENCIA				
		LUMINARIA		TOTAL
		Shark LED 60 W	Shark LED 90 W	
# de Luminarias		163	190	353
Potencia [W]		60	90	150
Potencia Total [kW]		9,78	17,1	26,88
Demanda mensual facturable [2,622 USD/kW]		\$26,03	\$45,52	\$71,55
Factor de Gestión de Demanda (FGD)		0,6		-
Demanda facturable anual		\$312,41	\$546,24	\$858,65
CÁLCULO DE ENERGÍA ANUAL				
		LUMINARIA		TOTAL
		Shark LED 60 W	Shark LED 90 W	
FRANJA HORARIA	HORAS	DIAS	Costo (Usd/kWh)	Energía anual (kWh) Costo anual de la Energía Energía anual (kWh) Costo anual de la Energía Energía anual Total (kWh) Costo total anual de la Energía (USD/kWh)
18:00 - 22:00	4	365	0,06	14.278,80 \$856,73 24.966,00 \$1.497,96 122.640,00 \$6.524,45
22:00 - 06:00	8,5	365	0,05	30.342,45 \$1.517,12 53.052,75 \$2.652,64

Finalmente se realizó una comparativa entre las tres hipótesis planteadas, la cual se refleja en la Tabla 3.7. En cuanto al porcentaje de ahorro energético anual, se observa claramente que el SAI propuesto en este proyecto lleva la ventaja, puesto que es capaz de brindar hasta un 72% de ahorro en la planilla eléctrica.

Tabla 3.7 Comparación de consumo energético de las hipótesis planteadas

SISTEMA	ENERGÍA ANUAL [kWh]	COSTO ANUAL DE LA ENERGÍA [USD]	AHORRO ANUAL [USD]	AHORRO ANUAL [%]
Luminarias de Inducción (Actual)	327.781,68	\$ 17.481,69	\$ -	0%
Luminarias LED sin dimerizar	117.734,40	\$ 6.279,17	\$ 11.202,52	64%
SAI Propuesto	89.306,73	\$ 4.841,41	\$ 12.640,28	72%

3.4 Análisis económico

3.4.1 Inversión inicial

Para hallar la inversión inicial del proyecto es necesario realizar un análisis de precio unitario (APU), en el que se consideren costos de equipos, manos de obra, materiales y transportes.

En las Tablas 3.8, 3.9 y 3.10 se muestran los análisis de precios unitarios del suministro, instalación y transporte de los equipos necesarios para la realización del proyecto propuesto. Los precios mostrados en la columna “Tarifa” y “Jornal/Hr” fueron consultados en la cámara de la construcción de Guayaquil del año 2019.

Tabla 3.8 Análisis de precio unitario para la luminaria LED de 60 W

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :	1				
DETALLE:	Suministro, instalación y transporte de Luminarias Shark Led de 60W			UNIDAD:	U
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5% M/O) Carro Canasta	1,00	40,00	40,000	0,50000	0,945 20
				SUBTOTAL M	20,95
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Electricista	1,00	3,620	2,005	1,50000	3,01
Ayudante de Electricista	1,00	3,620	3,620	1,50000	5,43
Maestro mayor	0,25	5,260	1,315	1,50000	1,97
Operador de Carro Canasta	1,00	5,260	5,260	1,50000	7,89
Ingeniero Eléctrico	0,10	4,030	0,403	1,50000	0,6
				SUBTOTAL N	18,90
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO UNIT. C=A*B	
Luminaria Shark LED de 60 W	U	1,000	244,660	244,66	
Materiales Varios	U	1,000	5,000	5	
				SUBTOTAL O	249,66
TRANSPORTE					
	UNID.	CANTIDAD A	COSTO/KM B	TARIFA C	COSTO UNIT. D=A*B*C
Camioneta	U/km	1,000	0,50	20,000	10
				SUBTOTAL P	10
				TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	299,51
				INDIRECTOS 15,00%	44,93
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	344,44

Tabla 3.9 Análisis de precio unitario para la luminaria LED de 90 W

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	2				
DETALLE:	Suministro, instalación y transporte de Luminarias Shark LED de 90W			UNIDAD:	U
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5% M/O) Carro Canasta	1,00	40,00	40,000	0,50000	20,000
				SUBTOTAL M	20,945
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Electricista	1,00	3,620	2,005	1,50000	3,008
Ayudante de Electricista	1,00	3,620	3,620	1,50000	5,430
Maestro mayor	0,25	5,260	1,315	1,50000	1,973
Operador de Carro Canasta	1,00	5,260	5,260	1,50000	7,890
Ingeniero Eléctrico	0,10	4,030	0,403	1,50000	0,605
				SUBTOTAL N	18,91
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO UNIT. C=A*B	
Luminaria Shark LED de 90 W	U	1,000	282,730	282,73	
Materiales Varios	U	1,000	5,000	5,000	
				SUBTOTAL O	287,73
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	COSTO/KM	TARIFA	COSTO UNIT.
		A	B	C	D=A*B*C
Camioneta	U/km	1,000	0,50	20,000	10,000
				SUBTOTAL P	10,000
			TOTAL, COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	337,58	
			INDIRECTOS	15,00%	50,64
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	388,22

Tabla 3.10 Análisis de precio unitario para el sistema de control propuesto

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	3				
DETALLE:	Suministro e instalación del sistema de control de las luminarias			UNIDAD:	U
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5% M/O) Escalera Telescópica	1,00	2,00	2,000	2,00000	3,705 4,000
				SUBTOTAL M	7,71
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Electricista	1,00	3,620	2,005	8,00000	16,040
Ayudante de Electricista	1,00	3,620	3,620	8,00000	28,960
Maestro mayor	0,50	5,260	2,630	8,00000	21,040
Ingeniero Eléctrico	0,25	4,030	1,008	8,00000	8,060
				SUBTOTAL N	74,10
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO UNIT. C=A*B	
Materiales varios	U	1,000	50,000	50,000	
Fuente conmutado de 24 Vdc	U	1,000	20,000	20,000	
SR3-XT43BD ZELIO 24 Vdc 60W 5K	U	1,000	96,100	96,100	
100-277V IP65 P26534	U	1,000	81,600	81,600	
SR3-XT43BD ZELIO 24 Vdc 60W 5K	U	1,000	15,000	15,000	
100-277V IP65 P26535	U	1,000	15,000	15,000	
Breaker 2P-30A	U				
Contactor 30 A 220V	U				
				SUBTOTAL O	277,70
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	COSTO/KM B	TARIFA C	COSTO UNIT. D=A*B*C
	A				
				SUBTOTAL P	0,000
			TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)		359,505
			INDIRECTOS	15,00%	53,926
			COSTO TOTAL DEL RUBRO		413,43

La cantidad de rubros requeridos para la implementación de este proyecto se detallan en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Inversión inicial para el SAI propuesto

INVERSIÓN INICIAL					
RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Suministro, instalación y transporte de Luminarias Shark Led de 60W	U	163	\$ 344,44	\$56.143,72
2	Suministro, instalación y transporte de Luminarias Shark Led de 90W	U	190	\$ 388,22	\$73.761,80
3	Suministro e instalación del sistema de control de las luminarias	U	12	\$ 413,43	\$49.61,16
COSTO TOTAL					\$ 134.866,68

Como se pudo observar en la Tabla 3.11 el presupuesto inicial para este proyecto es de \$134.866,68 USD.

Remplazando el rubro No. 3 de la Tabla 3.11, el cual contempla el suministro e instalación del sistema de control de las luminarias, por un total de 353 fotoceldas, como se observa en la Tabla 3.12 se obtiene el presupuesto inicial para un sistema de alumbrado LED sin dimerización.

Tabla 3.12 Presupuesto inicial para sistema de alumbrado con luminarias LEDs

PRESUPUESTO					
RUBR O No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Suministro, instalación y transporte de Luminarias Shark Led de 60W	U	163	\$ 352,49	\$ 57.455,87
2	Suministro, instalación y transporte de Luminarias Shark Led de 90W	U	190	\$ 396,27	\$ 75.291,30
COSTO TOTAL					\$ 132.747,17

De igual manera se realiza el APU para las luminarias de tipo inducción magnética, como se muestra en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13 Análisis de precios unitarios para la luminaria de inducción magnética

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	1					
DETALLE:	Suministro, instalación y transporte de Luminarias de inducción de 200W					
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R	
Herramienta menor (5% M/O) Carro Canasta	1,00	40,00	40,000	0,50000	20,000	
				SUBTOTAL M	20,945	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R	
Electricista	1,00	3,620	2,005	1,50000	3,008	
Ayudante de Electricista	1,00	3,620	3,620	1,50000	5,430	
Maestro mayor	0,25	5,260	1,315	1,50000	1,973	
Operador de Carro Canasta	1,00	5,260	5,260	1,50000	7,890	
Ingeniero Eléctrico	0,10	4,030	0,403	1,50000	0,605	
				SUBTOTAL N	18,90	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO UNIT. C=A*B		
Luminaria de Inducción de 200 Watts	U	1,000	176,880	176,880		
Materiales	U	1,000	5,000	5,000		
Varios				SUBTOTAL O	181,88	
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD A	COSTO/KM B	TARIFA C	COSTO UNIT. D=A*B*C	
Camioneta	U/km	1,000	0,50	20,000	10,000	
				SUBTOTAL P	10,000	
			TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	231,730		
			INDIRECTOS 15,00%	34,76		
			COSTO TOTAL DEL RUBRO	266,49		

El presupuesto calculado para las luminarias de inducción es de \$94.070,97 USD, como se detalla en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 Presupuesto para la luminaria del tipo inducción magnética

PRESUPUESTO					
RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Suministro, instalación y transporte de Luminarias de inducción de 200W	U	353	\$ 266,49	\$ 940070,97
COSTO TOTAL					\$ 94.070,97

Una vez establecido el presupuesto inicial para las tres hipótesis, se procede a realizar un contraste entre el SAI propuesto y el sistema de alumbrado con luminarias de inducción magnética y además, entre el SAI propuesto y el sistema de alumbrado con luminarias LED sin dimerización, haciendo uso de un modelo de análisis económico-financiero para proyectos de eficiencia energética de iluminación [20].

Como indicadores económicos para escoger la mejor alternativa, este modelo hace uso del Valor Actual Neto (VAN) y Periodo de Repago (PR).

El VAN se define como el total de beneficios producidos por un proyecto durante su vida útil y ajustado a su valor actual; por tanto, si este indicador es positivo, el proyecto es rentable. El cálculo del VAN se realiza aplicando la ecuación 3.1 [20].

$$VAN = \Delta I + \frac{\Delta O\&M}{(1 + i)^n} \quad (3.1)$$

Donde:

ΔI : Diferencia entre la inversión inicial de la tecnología eficiente y la convencional

$\Delta O\&M$: Costos de operación y mantenimiento

i : tasa anual de descuento

n : duración del proyecto

Los costos de operación y mantenimiento se definen como el beneficio que se obtiene al implementar una tecnología eficiente con respecto a otra, y se calcula mediante la ecuación 3.2.

$$\Delta O\&M = (EC - EE) + (DC - DE) + (CMC - CME) \quad (3.2)$$

Donde:

EC : consumo anual de energía de la tecnología convencional [USD]

EE : consumo anual de energía de la tecnología eficiente [USD]

DC : demanda facturable anual de la tecnología convencional [USD]

DE : demanda facturable anual de la tecnología eficiente [USD]

CMC : costo anual de mantenimiento de la tecnología convencional [USD]

CME : costo anual de mantenimiento de la tecnología energía [USD]

Aplicando las ecuaciones mencionadas, se determinó los costos totales anuales para el SAI propuesto y el sistema de luminarias de inducción magnética, como se detalla en el ANEXOG. Además, debido a que este proyecto se considera de bajo riesgo, se estimó una tasa de descuento del 10% [21]. Finalmente se obtuvo un VAN de \$105.929.62 con un PR de 3 años, como se observa en la Tabla 3.15. Cabe recalcar que se consideró una duración de 20 años para el proyecto, debido al tiempo de vida útil de las luminarias establecido en la Tabla 3.3.

Tabla 3.15 Comparación económica entre el SAI propuesto y las luminarias de inducción magnética

AÑO	INDUCCION	SAI PROPUESTO	ANÁLISIS ECONÓMICO			
	Costos totales anuales (Demanda+Energía+ Mantenimiento)	Costos totales anuales (Demanda+Energía +Mantenimiento)	Δ I	Δ O&M	Beneficio en valor presente	Beneficio en valor presente acumulado
0	\$ -	\$ -	\$ 40.795,71	\$ -	\$ -40.795,71	\$ -40.795,71
1	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 15.667,55	\$ -25.128,16
2	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 14.243,22	\$ -10.884,94
3	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 12.948,39	\$ 2.063,45
4	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 11.771,26	\$ 13.834,71
5	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 10.701,15	\$ 24.535,85
6	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 9.728,31	\$ 34.264,17
7	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 8.843,92	\$ 43.108,09
8	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 8.039,93	\$ 51.148,02
9	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 7.309,03	\$ 58.457,05
10	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 6.644,57	\$ 65.101,62
11	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 6.040,52	\$ 71.142,13
12	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 5.491,38	\$ 76.633,51
13	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 4.992,16	\$ 81.625,68
14	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 4.538,33	\$ 86.164,01
15	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 4.125,75	\$ 90.289,76
16	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 3.750,69	\$ 94.040,45
17	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 3.409,71	\$ 97.450,16
18	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 3.099,74	\$ 100.549,90
19	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 2.817,95	\$ 103.367,85
20	\$ 23.619,58	\$ 6.385,27		\$ 17.234,30	\$ 2.561,77	\$ 105.929,62
				VAN	\$	105.929,62
				Tasa de descuento		10%

Debido a que el VAN resultó positivo, se considera el proyecto como económicamente rentable.

De igual manera se realizó el análisis económico para cuantificar los beneficios del SAI propuesto en comparación con un sistema de alumbrado con luminarias LED sin dimerizar, obteniéndose los resultados de la Tabla 3.16.

Tabla 3.16 Comparación económica entre el SAI propuesto y un sistema de alumbrado con luminarias LED sin dimerizar

AÑO	LED		SAI PROUESTO		ANÁLISIS ECONÓMICO			
	Inversión Inicial	Costos totales anuales (Demanda+Energía+Mantenimiento)	Costos totales anuales (Demanda+Energía+Mantenimiento)	ΔI	$\Delta O\&M$	Beneficio en valor presente	Beneficio en valor presente acumulado	
0	\$ 132.376,52	\$ -	\$ -	\$ 2.490,16	\$ -	\$ -2.490,16	\$ -2.490,16	
1	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 2.053,38	\$ -436,78		
2	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 1.866,71	\$ 1.429,93		
3	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 1.697,01	\$ 3.126,94		
4	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 1.542,74	\$ 4.669,68		
5	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 1.402,49	\$ 6.072,17		
6	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 1.274,99	\$ 7.347,15		
7	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 1.159,08	\$ 8.506,23		
8	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 1.053,71	\$ 9.559,94		
9	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 957,92	\$ 10.517,86		
10	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 870,83	\$ 11.388,70		
11	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 791,67	\$ 12.180,36		
12	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 719,70	\$ 12.900,06		
13	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 654,27	\$ 13.554,33		
14	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 594,79	\$ 14.149,12		
15	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 540,72	\$ 14.689,84		
16	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 491,56	\$ 15.181,41		
17	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 446,88	\$ 15.628,28		
18	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 406,25	\$ 16.034,53		
19	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 369,32	\$ 16.403,85		
20	\$ 8.643,99	\$ 6.385,27		\$ 2.258,72	\$ 335,74	\$ 16.739,60		
				VAN	\$	16.739,60		
				Tasa de descuento				10%

El VAN obtenido fue de \$16.739,60, por tanto, el SAI propuesto resulta económicamente superior a un sistema de alumbrado con LEDs sin dimerizar.

3.5 Análisis ambiental

En el 2014, a través de la metodología ACM002 para el cálculo del factor de emisión de CO₂ de una red eléctrica, un estudio determinó que el Sistema Nacional Interconectado (SNI) de Ecuador emite 0,351 kg de CO₂ por cada kWh generado. Además, en 2018, se determinó que el precio de la tonelada de CO₂ es de aproximadamente \$33 [22].

Con los datos mencionados se obtuvieron las toneladas de CO₂ emitidas anualmente por cada hipótesis planteada, como se observa en la Figura 3.2.

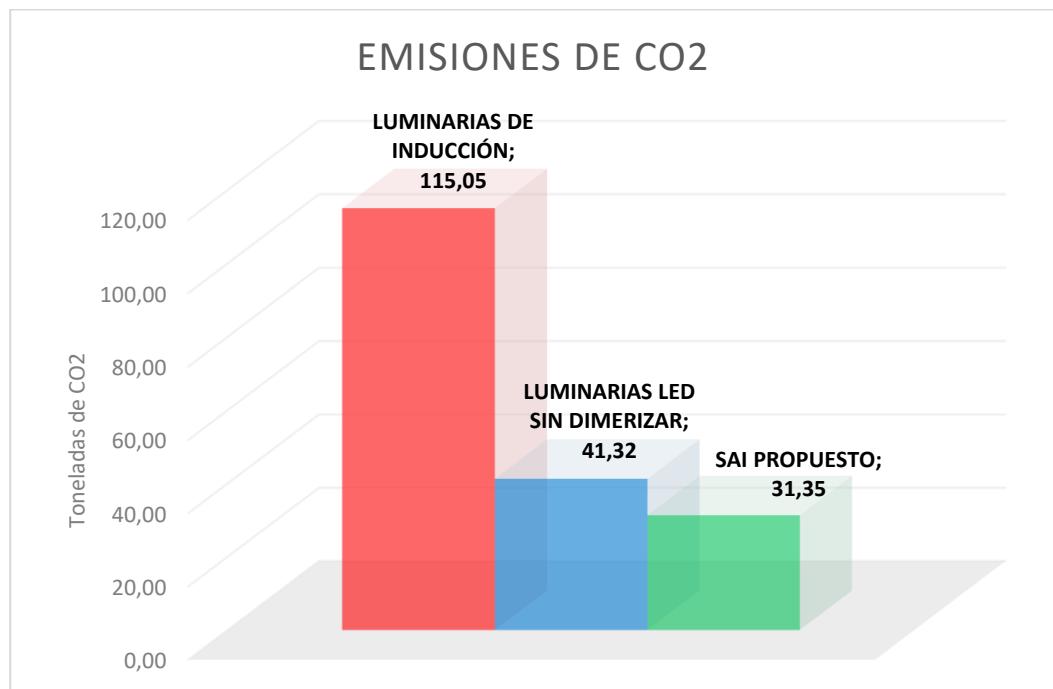


Figura 3.2 Comparación de toneladas de CO2 emitidas por cada hipótesis planteada

La diferencia de toneladas de CO2 emitidas por las luminarias de inducción y el SAI propuesto es de 83,70 toneladas, equivalentes a \$2.762,10 USD al año; mientras que la diferencia entre las luminarias LED sin dimerizar y el SAI propuesto es de 9,97 toneladas, con una equivalencia de \$299,10 USD al año. Por tanto, el SAI propuesto demuestra ser la opción más responsable con el ambiente.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el pasado, diversos estudios han sido realizados acerca de los beneficios que existen al implementar la tecnología LED en el alumbrado público. Sin embargo, este estudio demostró las grandes ventajas de combinar la tecnología LED con un sistema de control autómata para la dimerización de las mismas, llegando a proporcionar hasta un 72% de ahorro en la planilla eléctrica.

El SAI propuesto, a través de su sistema de control, reduce significativamente la cantidad de energía consumida, alargando la vida útil de los equipos y emitiendo una menor cantidad de CO₂ a la atmósfera, en comparación con un sistema de alumbrado con luminarias de inducción magnética o LED sin dimerizar.

Además de los beneficios económicos, energéticos y ambientales expuestos en párrafos anteriores, el SAI propuesto permite que exista uniformidad lumínica en los parqueaderos y vía principal de ESPOL, mejorando la estética nocturna y visibilidad en estos espacios.

4.1 Conclusiones

El estado actual del sistema de alumbrado público en los parqueaderos y vía principal de ESPOL fue establecido a través de un levantamiento eléctrico, determinándose que el 36% de las luminarias no funcionan, el 49% funcionan parcialmente y el 15% se encuentran encendidas durante todo el día, dejando en evidencia que el sistema de alumbrado de la ESPOL se encuentra en estado deplorable con necesidad de renovación.

Se determinó que para los parqueaderos es suficiente el uso de luminarias LED de 60 W, mientras que para la vía principal se necesitan luminarias LED

de 90 W; esto debido a que fueron puestas a prueba mediante simulaciones realizadas en el software gratuito Dialux, concluyendo que, para cada nivel de intensidad lumínica programada, ambos modelos cumplen con el respectivo estándar mínimo de iluminación que establece la resolución Nro. ARCONEL-054/18.

El circuito de control para las luminarias del sistema propuesto fue diseñado mediante el uso del PLC Zelio, que con las herramientas digitales incorporadas en el mismo, como los relojes, permitió la programación de los diferentes tipos de escenarios de dimerización planteados y el envío de señales de voltaje al driver de la luminaria para regular la cantidad de luz emitida.

Con un presupuesto de \$134.866,68 dólares americanos, es posible implementar un SAI económico rentable, tecnológicamente factible y responsable con el ambiente en los parqueaderos y vía principal de la ESPOL.

4.2 Recomendaciones

Para la implementación de este proyecto, se recomienda la consideración del uso de una instalación eléctrica subterránea, ya que aportaría en la durabilidad de las líneas de alimentación y en la reducción de contaminación visual del campus.

Con el fin de asegurar el tiempo estimado de 20 años de vida útil de este proyecto, se recomienda realizar mantenimientos preventivos a los equipos una vez al año.

Al momento de modelar un espacio en Dialux para su estudio lumínico, es recomendable utilizar el plano de AutoCAD para asegurar precisión geométrica y un resultado más acertado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. S. Ramirez, «Propuesta de un plan de negocios de empresa de servicios de eficiencia energética y comercialización de iluminación LED,» *Revista Electrónica Gestión de las Personas y Tecnología*, vol. 5, nº 15, pp. 159-170, 2012.
- [2] Iluminet, «Iluminet,» 24 Marzo 2009. [En línea]. Available: <https://www.iluminet.com/torraca-la-primera-ciudad-con-alumbrado-publico-totamente-led/>. [Último acceso: 20 Mayo 2019].
- [3] Echelon Corporation, «Echelon,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.echelon.com/assets/blt39b6475f3f7acf71/Cambridge%20Case%20Study.pdf>. [Último acceso: 05 Junio 2019].
- [4] M. Poveda, «Eficiencia Energética: Recurso No Aprovechado,» Quito, 2007.
- [5] M. Pipattanasomporn, S. Rahman, I. Flory y Y. Teklu, «Engineering design and assessment of a demand-sensitive LED streetlighting system,» *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 7, pp. 136-146, 2014.
- [6] J. G. Trasancos, *Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión*, Madrid: Paraninfo S.A., 2006.
- [7] C. Kyu Min , Y. Jae Eul, C. Ma Xian y K. Hee Jun , «Wire and Wireless Linked Remote Control for the Group Lighting System Using Induction Lamps,» *7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Bangkok, 2007*, pp. 456-461, 2007.
- [8] KDE, «KDE, LED tienda,» [En línea]. Available: <https://led.tienda/lamparas/bombillas-led-regulables.html>. [Último acceso: 3 Junio 2019].
- [9] SYLVANIA, «sylvania,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.sylvania.com.ec/producto/shark-led/>. [Último acceso: 5 Julio 2019].
- [10] E. Sirlin, *La luz en el teatro: manual de iluminación*, Buenos Aires: Atuel, 2006.
- [11] UNED: Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, «IEEC,»

- [En línea]. Available: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_refencia_ISE6_1_1.pdf. [Último acceso: 30 Mayo 2019].
- [12] P. F. Chantera Abarca y D. R. Tobar Estrella, «ESTUDIO DE LÁMPARAS LED PARA ALUMBRADO PÚBLICO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA CON CONTROL AUTOMÁTICO ON/OFF,» Quito, 2013.
- [13] J. A. Rodriguez y C. A. Llano, «GUIA PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES DE ILUMINACION INTERIOR,» Pereira, 2012.
- [14] N. d. J. Zapata Giraldo, «IMPACTO AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN,» [En línea]. Available: http://www.grupo-epm.com/site/Portals/1/biblioteca_epm_virtual/tesis/impacto_ambiental_de_los_sistemas_de_iluminacion_luminica.pdf.
- [15] L. Assaf, D. Gautam y T. Carlos, *Impacto ambiental de los sistemas de iluminación*, 2006.
- [16] ARCONEL, «Regulacion Electrica,» Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/02/Pliego-Tarifario-SPEE-2019.pdf>. [Último acceso: 11 Mayo 2019].
- [17] Agencia de regulación y control de electricidad, «ARCONEL - Ecuador,» 28 diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/054-18-Conocimiento-y-Aprobacion-del-proy-de-Reg-Sustitutiva-a-la-Reg-N-CONELEC-005-14-Prestacion-del-SAPG.pdf>. [Último acceso: 15 julio 2019].
- [18] SYLVANIA, «Sylvania,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.sylvania.com.ec/wp-content/uploads/2018/07/SHARK-LED.pdf>. [Último acceso: 25 julio 2019].
- [19] «Municipalidad de Guayaquil,» [En línea]. Available: <https://www.guayaquilesmidestino.com/es/descubre-guayaquil/generalidades/clima>.
- [20] J. A. Stella, «Anális de proyectos de inversión en iluminación eficiente.

Modelización y aplicación al túnel subfluvial,» *CIE*, nº 39, pp. 8-11, 2016.

- [21] C. Basantes, «Análisis Técnico y Económico del uso de Luminarias de Inducción Electromagnética de Baja Frecuencia,» Quito, 2016.
- [22] T. Diaz, «El precio de la tonelada de CO2 en la UE ha subido un 60% desde enero,» *El Economista*, 08 Abril 2018.
- [23] G. A. Monsalve Tapias, J. A. Bedoya Arboleda y O. A. Marín Jaramillo, *Telegestión del alumbrado público en Medellín*, Medellín, 2009.
- [24] C. Herranz, «Universidad de Murcia,» 2002. [En línea]. Available: https://www.um.es/cieloscuro/documentos/divulgacion/cl_impacto_ambiental.pdf. [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [25] «Salida y Puesta de Sol,» [En línea]. Available: https://salidaypuestadelsol.com/ecuador/guayaquil_5683.html.
- [26] N. Khan y N. Abas, «Comparative study of energy saving light sources,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 14, 2011.

ANEXOS

ANEXO A

CNEI UN GUAYAQUIL

CARGOS TARIFARIOS JUNIO - NOVIEMBRE

TIPO DE CONSUMO	DEMANDA (kW-hora)	ENERGIA (kW-hora)	COMUNICACIONES (kW-hora)
NIVEL VOLTAJE			
MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA			
COMERCIALES			
	4,003	0,090	
INDUSTRIALES			
	4,003	0,073	
E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS			
SERVICIO COMUNITARIO Y ABOÑADOS ESPECIALES			
	4,003	0,062	
BOMBEO AGUA			
	4,003	0,052	
NIVEL VOLTAJE			
MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA			
COMERCIALES			
08:00 hasta 22:00 horas	4,003	0,090	
22:00 hasta 06:00 horas		0,073	
E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS			
SERVICIO COMUNITARIO Y ABOÑADOS ESPECIALES			
08:00 hasta 22:00 horas	4,003	0,062	
22:00 hasta 06:00 horas		0,052	
BOMBEO AGUA			
08:00 hasta 22:00 horas	4,003	0,053	
22:00 hasta 06:00 horas		0,042	
NIVEL VOLTAJE			
MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA			
BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE			
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	3,820	0,043	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,073	
L-V 22:00 hasta 06:00 horas		0,054	
S,D 18:00 hasta 22:00 horas		0,043	
ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA			
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,000	0,050	
L-D: 18:00 hasta 22:00 horas		0,086	
L-D: 22:00 hasta 06:00 horas		0,043	
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas			
INDUSTRIALES			
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,003	0,0815	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,0935	
L-V 22:00 hasta 06:00 horas		0,0456	
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0815	

CONSUMOS kWh-mes:
0-300: 1,414
301-600: 2,025
601-1000: 4,240
> 1000: 7,066

CONSUMOS kWh-mes:
0-300: 1,414
301-600: 2,025
601-1000: 4,240
> 1000: 7,066

1,414

CONSUMOS kWh-mes:
0-300: 1,414
301-600: 2,025
601-1000: 4,240
> 1000: 7,066

ANEXO B



ANEXO C

Caida de voltaje a mínima dimetrización (100%)						
Nº de driver	Resistencia	Metros	Conductores	Caida V	Voltaje Nuevo	I driver
1	0,029527559	0	2	0,00036	10,0000	0,00036
2	0,029527559	30	2	0,00072	9,9987	0,00036
3	0,029527559	30	2	0,00108	9,9986	0,00036
4	0,029527559	30	2	0,00144	9,9974	0,00036
5	0,029527559	30	2	0,0018	9,9968	0,00036
6	0,029527559	30	2	0,00216	9,9962	0,00036
7	0,029527559	30	2	0,00252	9,9955	0,00036
8	0,029527559	30	2	0,00288	9,9949	0,00036
9	0,029527559	30	2	0,00324	9,9943	0,00036
10	0,029527559	30	2	0,0036	9,9936	0,00036
11	0,029527559	30	2	0,00396	9,9930	0,00036
12	0,029527559	30	2	0,00432	9,9923	0,00036
13	0,029527559	30	2	0,00468	9,9917	0,00036
14	0,029527559	30	2	0,00504	9,9911	0,00036
15	0,029527559	30	2	0,0054	9,9904	0,00036
16	0,029527559	30	2	0,00576	9,9898	0,00036
17	0,029527559	30	2	0,00612	9,9892	0,00036
18	0,029527559	30	2	0,00648	9,9885	0,00036
19	0,029527559	30	2	0,00684	9,9879	0,00036
20	0,029527559	30	2	0,0072	9,9872	0,00036
21	0,029527559	30	2	0,00756	9,9866	0,00036
22	0,029527559	30	2	0,00792	9,9860	0,00036
23	0,029527559	30	2	0,00828	9,9853	0,00036
24	0,029527559	30	2	0,00864	9,9847	0,00036
25	0,029527559	30	2	0,00900	9,9841	0,00036
26	0,029527559	30	2	0,00936	9,9834	0,00036
27	0,029527559	30	2	0,00972	9,9828	0,00036
28	0,029527559	30	2	0,01008	9,9821	0,00036
29	0,029527559	30	2	0,01044	9,9815	0,00036
30	0,029527559	30	2	0,01080	9,9809	0,00036
31	0,029527559	30	2	0,01116	9,9802	0,00036
32	0,029527559	30	2	0,01152	9,9796	0,00036
33	0,029527559	30	2	0,01188	9,9790	0,00036
34	0,029527559	30	2	0,01224	9,9783	0,00036

ANEXO D

Caida de voltaje a máxima dimerización (65%)						
Nº de driver	Resistencia	Metros	Conductores	I x conductor	Caida V	Voltaje del driver
1	0,029527559	0	2	0,00028	0	6,5000
2	0,029527559	30	2	0,0007	0,001240157	6,4988
3	0,029527559	30	2	0,00112	0,001984252	6,4980
4	0,029527559	30	2	0,00154	0,002728346	6,4973
5	0,029527559	30	2	0,00196	0,003472441	6,4965
6	0,029527559	30	2	0,00238	0,004216535	6,4958
7	0,029527559	30	2	0,0028	0,00496063	6,4950
8	0,029527559	30	2	0,00322	0,005704724	6,4943
9	0,029527559	30	2	0,00364	0,006448819	6,4936
10	0,029527559	30	2	0,00406	0,007192913	6,4928
11	0,029527559	30	2	0,00448	0,007937008	6,4921
12	0,029527559	30	2	0,0049	0,008681102	6,4913
13	0,029527559	30	2	0,00532	0,009425197	6,4906
14	0,029527559	30	2	0,00574	0,010169291	6,4898
15	0,029527559	30	2	0,00616	0,010913386	6,4891
16	0,029527559	30	2	0,00658	0,01165748	6,4883
17	0,029527559	30	2	0,007	0,012401575	6,4876
18	0,029527559	30	2	0,00742	0,013145669	6,4869
19	0,029527559	30	2	0,00784	0,013889764	6,4861
20	0,029527559	30	2	0,00826	0,014633858	6,4854
21	0,029527559	30	2	0,00868	0,015377953	6,4846
22	0,029527559	30	2	0,0091	0,016122047	6,4839
23	0,029527559	30	2	0,00952	0,016866142	6,4831
24	0,029527559	30	2	0,00994	0,017610236	6,4824
25	0,029527559	30	2	0,01036	0,018354331	6,4816
26	0,029527559	30	2	0,01078	0,019098425	6,4809
27	0,029527559	30	2	0,0112	0,01984252	6,4802
28	0,029527559	30	2	0,01162	0,020586614	6,4794
29	0,029527559	30	2	0,01204	0,021330709	6,4787
30	0,029527559	30	2	0,01246	0,022074803	6,4779
31	0,029527559	30	2	0,01288	0,022818898	6,4772
32	0,029527559	30	2	0,0133	0,023562992	6,4764
33	0,029527559	30	2	0,01372	0,024307087	6,4757
34	0,029527559	30	2	0,01414	0,025051181	6,4749

ANEXO E

Caída de voltaje a 100% de Capacidad							
Nº Luminarias	Resistencia	Metros	Conductores	I x conductor [A]	Caída de Voltaje [V]	Voltaje de Luminaria [V]	I luminaria [A]
1	0,00341	0	2	0,39	0	240	0,39
2	0,00341	30	2	0,78	0,159588	239,840412	0,39
3	0,00341	30	2	1,17	0,239382	239,760618	0,39
4	0,00341	30	2	1,56	0,319176	239,680824	0,39
5	0,00341	30	2	1,95	0,39897	239,60103	0,39
6	0,00341	30	2	2,34	0,478764	239,521236	0,39
7	0,00341	30	2	2,73	0,558558	239,441442	0,39
8	0,00341	30	2	3,12	0,638352	239,361648	0,39
9	0,00341	30	2	3,51	0,718146	239,281854	0,39
10	0,00341	30	2	3,9	0,79794	239,20206	0,39
11	0,00341	30	2	4,29	0,877734	239,122266	0,39
12	0,00341	30	2	4,68	0,957528	239,042472	0,39
13	0,00341	30	2	5,07	1,037322	238,962678	0,39
14	0,00341	30	2	5,46	1,117116	238,882884	0,39
15	0,00341	30	2	5,85	1,19691	238,80309	0,39
16	0,00341	30	2	6,24	1,276704	238,723296	0,39
17	0,00341	30	2	6,63	1,356498	238,643502	0,39
18	0,00341	30	2	7,02	1,436292	238,563708	0,39
19	0,00341	30	2	7,41	1,516086	238,483914	0,39
20	0,00341	30	2	7,8	1,59588	238,40412	0,39
21	0,00341	30	2	8,19	1,675674	238,324326	0,39
22	0,00341	30	2	8,58	1,755468	238,244532	0,39
23	0,00341	30	2	8,97	1,835262	238,164738	0,39
24	0,00341	30	2	9,36	1,915056	238,084944	0,39
25	0,00341	30	2	9,75	1,99485	238,00515	0,39
26	0,00341	30	2	10,14	2,074644	237,925356	0,39
27	0,00341	30	2	10,53	2,154438	237,845562	0,39
28	0,00341	30	2	10,92	2,234232	237,765768	0,39
29	0,00341	30	2	11,31	2,314026	237,685974	0,39
30	0,00341	30	2	11,7	2,39382	237,60618	0,39
31	0,00341	30	2	12,09	2,473614	237,526386	0,39
32	0,00341	30	2	12,48	2,553408	237,446592	0,39
33	0,00341	30	2	12,87	2,633202	237,366798	0,39
34	0,00341	30	2	13,26	2,712996	237,287004	0,39

ANEXO F



Empresa Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP
 Matrícula: Km. 6 1/2 Vía a la Costa Edif. Grace Celbos Piso 3
 Sucursal: Cda. La Garzota Mz 47, sector 3.
 Ruc: 0968599020001
 Contribuyente especial, resolución No. 065
 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD

Nro. factura 148-999-012462781
 Nro. doc. interno 1800147923
 Fecha de emisión 28-05-2019
 Fecha de vencimiento 12-06-2019
 Número de autorización 2805201901096859902000121489990124627810115332418



K20016642544

VALOR A PAGAR: 79035,85

Información del Consumidor

CUENTA CONTRATO 200016642544

Razón social ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ESPOL (ESCUELA
 RUC 0960002780001
 Código Único Eléctrico 0400578358
 Geocódigo 0417E004000097

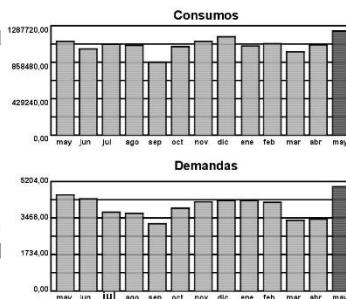
Tipo de tarifa Arconel MTCGCD10 - MT Beneficio Público con Dem Horaria
 Dirección del servicio VIA PERIMETRAL 30.5 CAMPUS ESPOL PROSPER - XIMENA
 Dirección de envío AV 6 DE DICIEMBRE ELOY ALFARO - INAQUITO

1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor	1138124	Días facturados	30	Factor de multiplicación	4200.00
Tipo de consumo	leido	Fecha hasta	22-05-2019	Factor de corrección	0.6000
Fecha desde	23-04-2019			Factor de potencia (FP)	0.9347
				Penalización bajo FP	0.0000
Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal
Energía act. hor. A (07h00-18h00)	22-05-2019	14529.00	14325.00	0.00	856800.00
Energía act. hor. B (18h00-22h00)	22-05-2019	2510.00	2478.00	0.00	134400.00
Energía act. hor. C (22h00-07h00)	22-05-2019	4231.00	4175.00	0.00	235200.00
Energía reactiva total	22-05-2019	7664.00	7553.00	0.00	466200.00
Demandas máx. hor. A (07h00-18h00)	22-05-2019	1.18		0.00	1.18
Demandas máx. hor. B (18h00-22h00)	22-05-2019	0.49		0.00	0.49
Demandas máx. hor. C (22h00-07h00)	22-05-2019	0.32		0.00	0.32
Demandas facturables	22-05-2019	4956.00		0.00	4956.00

2. Valores Pendientes

VALORES PENDIENTES (2) 0,00

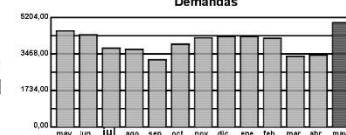


Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Valor Consumo Comercialización	71232.00
Valor Demanda	7.07
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	79035.85
Servicio Alumbrado Público General	0.00
Subtotal Alumbrado Público (APG)	0.00
Base I.V.A. 0%	79035.85
I.V.A 0%	0.00
TOTAL SE Y APG (1)	79035.85

3. Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3) 0,00



Formas de Pago

FORMA DE PAGO	VALOR	PLAZO	TIEMPO
SIN UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	79035.85	15	días

Subsidios del Gobierno

Subsidio Tarifa Eléctrica	18 722.54-
TOTAL	18722.54-

TOTAL (A)	
Servicio Eléctrico y Alumbrado Público (1)	79035.85
Valores Pendientes (2)	0.00
Planes de Financiamiento (3)	0.00
TOTAL SECTOR ELECTRICO (1+2+3)	79035.85

Mensajes

Recaudación Terceros

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

RESUMEN DE VALORES A PAGAR	
Total Sector Eléctrico (A)	79035.85
Total Recaudación de Terceros (4+5+6)	0.00
TOTAL A PAGAR (USD)	79035.85

ANEXO G

AÑO	INDUCCIÓN MAGNETICA					SAI PROPUESTO							ANALISIS ECONOMICO				
	Inversión Inicial	Costo por demanda facturable al año (USD)	Costo de Energía Anual (USD)	Costo de Mant. Anual (USD)	Costos totales	Costo por demanda facturable al año (USD)	Costo de Energía Anual (USD)	Costo de Mant. Anual	Costos totales	Δ I	ΔDF	Δ Costo de Energía Anual	Δ Costo de Mant.	Δ O & M	Flujo efectivo	Recuperación	
0	\$ 94,070,97	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ -	\$ 134,866,68	\$ 858,65	\$ 6385,27	\$ 40,795,71	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -40,795,71	
1	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ -23,561,41	\$ -	\$ -	\$ -	
2	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 6,327,11	\$ 17,234,30	\$ 10,907,20	
3	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 28,141,50	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
4	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 45,375,90	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
5	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 62,610,10	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
6	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 79,844,41	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
7	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 97,078,71	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
8	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 114,313,01	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
9	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 131,547,31	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
10	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 148,781,61	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
11	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 166,015,92	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
12	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 183,250,22	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
13	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 200,484,52	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
14	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 217,718,32	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
15	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 234,953,13	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	
16	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 269,421,73	\$ 17,234,30	\$ 286,656,03	
17	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 303,890,33	\$ 17,234,30	\$ 303,890,33	
18	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 303,890,33	\$ 17,234,30	\$ 303,890,33	
19	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 303,890,33	\$ 17,234,30	\$ 303,890,33	
20	\$ 1,434,34	\$ 17,481,69	\$ 4,703,55	\$ 23,619,58	\$ 858,65	\$ 4,841,41	\$ 685,21	\$ 6385,27	\$ 575,68	\$ 12,640,28	\$ 4,018,34	\$ 17,234,30	\$ 17,234,30	\$ 303,890,33	\$ 17,234,30	\$ 303,890,33	