

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO INTERVENIDO BASADO EN
TECNOLOGÍA LED PARA LA AV. DE LOS COFANES EN LA
PARROQUIA LUMBAQUI PERTENECIENTE AL GAD MUNICIPAL DEL
CANTÓN GONZALO PIZARRO**

**AUTOR:
ADRIÁN STEVEN GÓMEZ LEÓN**

**TUTOR:
LUIS FERNANDO TIPÁN VERGARA**

Quito, marzo del 2022

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, **SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO INTERVENIDO BASADO EN TECNOLOGÍA LED PARA LA AV. DE LOS COFANES EN LA PARROQUIA LUMBAQUI PERTENECIENTE AL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN GONZALO PIZARRO**, realizado por **ADRIÁN STEVEN GÓMEZ LEÓN**, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo de 2022



Luis Fernando Tipán Vergara
C.I. 171732900-5

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Adrián Steven Gómez León, con documento de identificación N°210077400-5, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO INTERVENIDO BASADO EN TECNOLOGÍA LED PARA LA AV. DE LOS COFANES EN LA PARROQUIA LUMBAQUI PERTENECIENTE AL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN GONZALO PIZARRO**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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



Adrián Steven Gómez León
CI. 210077400-5
Quito, marzo del 2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia por ser pilar de apoyo durante mi tiempo de estudio y a mis seres queridos que de una u otra forma siempre estuvieron ahí en los momentos que lo requerí, a los docentes y compañeros de la universidad por los conocimientos y experiencias compartidas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por brindarme sabiduría y fuerzas para dar por culminada esta etapa de mi vida. A los docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica por sus conocimientos brindados durante mis años de estudio. A la Universidad Politécnica Salesiana, por acogerme en sus instalaciones mismas que sirvieron para mi formación profesional y finalmente al Ing. Luis Tipán Vergara por el acompañamiento, paciencia y guía durante el proceso de desarrollo del proyecto de grado.

ÍNDICE

GLOSARIO	xii
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPÍTULO I.....	1
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
CAPÍTULO II	3
ESTUDIO TÉCNICO DE LAS LUMINARIAS HPS Y LED.....	3
2.1 Situación Actual del Sistema Eléctrico	3
2.2 Partes de la Luminaria de Alumbrado Público HPS	12
2.3 Principios de funcionamiento de la Lámpara de Alumbrado Público HPS	14
2.4 Partes de la Luminaria de Alumbrado Público LED.....	15
2.5 Principios de funcionamiento de la Lámpara de Alumbrado Público LED.....	17
2.6 Estudio de Eficiencia Energética	19
CAPÍTULO III.....	52
DISEÑO FOTOMÉTRICO.....	52
3.1 Requerimientos técnicos del diseño fotométrico	53
3.2 Configuración de parámetros físicos de la vía en Dialux	56
3.3 Configuración de luminarias LED en la instalación	57
3.4 Memoria descriptiva y de cálculos fotométricos generados por DIALux para 150m lineales de calzada.....	61
CAPÍTULO IV	69
DISEÑO ELÉCTRICO	69
4.1 Densidad de potencia eléctrica instalada.....	69
4.2 Ubicación de postera en el plano catastral.	70

4.3 Estudio de demanda.	71
4.4 Dimensionamiento de conductores en acometidas principales.....	75
4.5 Dimensionamiento de conductores en circuitos ramales troncales.....	76
4.6 Dimensionamiento de conductores en ramales secundarios	80
4.7 TDP's y protección de circuitos ramales troncales.....	81
4.8 Sistema de puesta a tierra.....	86
CAPÍTULO V	89
PRESUPUESTOS	89
5.1 Presupuesto general Etapa 1.	90
5.2 Presupuesto general Etapa 2.	92
CAPÍTULO VI.....	94
CONCLUSIONES	94
CAPÍTULO VII	95
RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXOS	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Componentes de la luminaria HPS (a) Balastro (b) Ignitor (c) Capacitor (d) Lámpara HPS. Fuente: [autor]	7
Figura 2- Comparación entre consumo ideal vs consumo real. Fuente: [autor]	12
Figura 3- Conjunto eléctrico de la luminaria HPS. Fuente: [autor]	14
Figura 4-Espectro de radiación electromagnética visible. Fuente: [autor]	14
Figura 5-Energía de Ionización de gases usados en luminarias HPS. Fuente: [34]... 15	
Figura 6-Conjunto eléctrico de una luminaria LED. Fuente: [autor].....	17
Figura 7-Curva de Polarización del Diodo. Fuente: [autor].....	17
Figura 8-Emisión de luz de un LED. Fuente: [35].....	18
Figura 9-Impacto de la corriente vs el flujo luminoso. Fuente: [autor]	18
Figura 10-Paramétros arquitectónicos del sistema de iluminación vial. Fuente: [1].	20
Figura 11- Procedimiento de selección de luminarias en base a un análisis técnico-económico. Fuente: [autor]	21
Figura 12-Topología de vía. Fuente: [autor]	23
Figura 13-Localización del campo de cálculo. Vista 3D (a), vista base (b), vista frontal (c), vista lateral derecha (d). Fuente: [autor].....	25
Figura 14-Localización de puntos de cálculo. Fuente: [autor].....	26
Figura 15- W-warm (a), WW-warm white (b), NW-neutral white (c), CW-cool white (d). Fuente: [autor]	28
Figura 16-Ficha Técnica Luminaria Beghelli Santo-HPS 250W. Fuente: [autor].....	30
Figura 17-Ficha Técnica Luminaria Ledvance Street Light 110W. Fuente: [autor]..	30
Figura 18-Área de evaluación (Vista de mapa de Isolux de luminancia). Fuente: [autor]	31
Figura 19-Área de evaluación (Vista de grillas de cálculo en un carril). Fuente: [autor]	31
Figura 20- Diferencia de potencia de carga por equipo de iluminación. Fuente: [autor]	36
Figura 21 Depreciación luminosa de una luminaria de alumbrado público con cierre hermético expuesta a 5 tipos de ambientes. Fuente: [38].....	43
Figura 22-(a) Luminaria con una eficiencia idealmente del 95% nueva (b) Luminaria con una eficiencia inferior al 70% (c) Luminaria obsoleta. Fuente: [autor]	44

Figura 23-Esquema de conexión de elementos para análisis de calidad de la energía. Fuente: [autor].....	45
Figura 24-Triángulo de potencia con presencia de armónicos. Fuente: [autor].....	47
Figura 25-Esquema de componentes de una fuente conmutada. Fuente: [autor]	51
Figura 26-Influencia de la arborización en la distribución luminosa. Fuente: [autor]	55
Figura 27-Croquis parcial de la Av. De los Cofanes-Lumbaqui. Fuente: [autor].....	56
Figura 28-Configuración en DIALux-Av. De los Cofanes. Fuente: [autor]	57
Figura 29-Interdistancia de luminarias. Fuente: [autor].....	59
Figura 30-Vista de un usuario en Acera 2 (Vía central-M3). Fuente: [autor].....	59
Figura 31-Ángulo del brazo. Fuente: [autor]	60
Figura 32-Altura de luminarias. Fuente: [autor]	61
Figura 33-Escenario 1 (a), Escenario 2 (b), Escenario 3 (c). Fuente: [autor]	62
Figura 34-CDL Polar Luminaria SL Flex MD P 80W 730 RV25ST WAL. Fuente: [44]	63
Figura 35-CDL Polar Luminaria SL Flex LA P 110W 740 RV25ST WAL. Fuente: [44]	63
Figura 36-CDL Polar Luminaria SL Flex LA P 158W 740 RV35ST WAL. Fuente: [44]	63
Figura 37-(a) Configuración de conductor de CU (b) Configuración de varillas Copperweld (c) Configuración de tipo de suelo. Fuente: [autor].....	88
Figura 38-(a) Configuración de parámetros de simulación $I_{cc}=4.10kA$ (b) Resultados finales de la malla (Dentro de límites admisibles). Fuente: [autor]	88
Figura 39-Configuración de la malla en ETAP (a) Vista tridimensional de la malla (b) Corte transversal que nos indica la configuración del suelo y la profundidad de las picas a 0.5m de la superficie. Fuente: [autor]	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-Administración ejecutora de la construcción del alumbrado actual	3
Tabla 2-Especificaciones base del circuito 1	4
Tabla 3-Especificaciones base del circuito 2	4
Tabla 4-Datos de los transformadores operando in situ.....	5
Tabla 5-Características de fábrica de conductores operando in situ	5
Tabla 6- Características de fábrica de los cables de derivación.....	6
Tabla 7- Características de postes ornamentales.....	7
Tabla 8- Demanda de diseño en el secundario del transformador.	10
Tabla 9- Cuantificación de equipos de iluminación funcionales por circuito.....	11
Tabla 10-Medición de magnitudes eléctricas principales en el sistema actual	11
Tabla 11-Aproximación de la potencia real e ideal in situ.....	11
Tabla 12-Especificaciones de la tensión de operación de un ignitor. Fuente [31].....	13
Tabla 13-Valores luminotécnicos para vías tipo M3 según CIE 115 2010.....	22
Tabla 14-Datos para simulación comparativa.....	23
Tabla 15-Resultados para área de evaluación en Calle 1	32
Tabla 16-Resultados para área de evaluación en Calle 2.....	32
Tabla 17-Resultados para observador 1- Calle 1	32
Tabla 18-Resultados para observador 2- Calle 1	32
Tabla 19-Resultados para observador 1- Calle 2	33
Tabla 20-Resultados para observador 2- Calle 2	33
Tabla 21-APU del costo de suministro y montaje de una luminaria.....	35
Tabla 22- APU de mantenimiento de luminaria HPS	38
Tabla 23-FDFL según el tipo de lámpara. Fuente: [1].....	41
Tabla 24-FDLU según el grado IP y grado de contaminación. Fuente: [1].....	42
Tabla 25-Categorización de los ambientes. Fuente: [13].....	42
Tabla 26-Factor de atenuación para cargas idénticas en paralelo. Fuente: [42]	49
Tabla 27-Requerimientos técnicos para el diseño de alumbrado público en la Av. de los Cofanes del GADMCGP-Vías tipo M3.....	54

Tabla 28- Requerimientos técnicos para el diseño de alumbrado público en la Av. de los Cofanes del GADMCGP-Vías tipo M4.....	54
Tabla 29- Requerimientos técnicos para el diseño de alumbrado público en la Av. de los Cofanes del GADMCGP-Acera tipo P3.....	55
Tabla 30-Configuración de parámetros físicos en la vía.....	57
Tabla 31- Configuración de mástil y brazo en las luminarias.....	58
Tabla 32-Variación de parámetros fotométricos base en la Calzada 2 para escenarios 1 y 2.....	62
Tabla 33-Parámetros de luminarias instaladas en la simulación.....	63
Tabla 34-Parametros base de la vía.....	64
Tabla 35-Parametros específicos para Calzada 1 [M4].....	65
Tabla 36- Parametros específicos para Calzada 1 en Escenario 3 [M4]	65
Tabla 37- Parámetros específicos para Calzada 2 en Escenario 1 [M3]	66
Tabla 38-Parámetros específicos para Calzada 2 en Escenario 2 [M3]	67
Tabla 39-Parámetros específicos para Calzada 2 en Escenario 3 [M3] (Lado unilateral)	68
Tabla 40-Parámetros específicos para Calzada 3 [M4].....	68
Tabla 41-DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA INSTALADA EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO	70
Tabla 42-DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y POTENCIA APARENTE CONSIDERANDO LA POTENCIA DE DEFORMACIÓN	72
Tabla 43-DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR 1	73
Tabla 44-DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR 2.....	73
Tabla 45-DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR 3 (Etapa 2)	74
Tabla 46-Fusibles de protección en MV y BV-Transformador 1	75
Tabla 47-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LAS ACOMÉTIDAS PRINCIPALES	75
Tabla 48-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 1-TABLERO 1	77
Tabla 49-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 2-TABLERO 1	77
Tabla 50-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 1-TABLERO 2	78
Tabla 51-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 2-TABLERO 2.....	78
Tabla 52-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 1-TABLERO 3.....	79
Tabla 53-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 3-TABLERO 3.....	80

Tabla 54-AMPACIDAD EN CABLES FLEXIBLES THHN/THWN	81
Tabla 55-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN BARRAJE DEL TDP 1.	82
Tabla 56-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN BARRAJE DEL TDP 2.	82
Tabla 57-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN BARRAJE DEL TDP 3.	82
Tabla 58-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 1 Y RAMAL 2 TDP 1	83
Tabla 59-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 1 Y RAMAL 2 TDP 2	84
Tabla 60-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL, RAMAL 2 Y RAMAL 3 TDP 3.....	85
Tabla 61-CALCULO DE LA IMPEDANCIA POR CADA EQUIPO DE ILUMINACIÓN.....	86
Tabla 62-Obtención de la corriente de cortocircuito para en TDP1	87
Tabla 63-Obtención de la corriente de cortocircuito para en TDP2	87
Tabla 64-Obtención de la corriente de cortocircuito para en TDP3	87

GLOSARIO

A

- ✓ **Absorción:** Proceso mediante el cual un flujo luminoso incidente se convierte en calor.
- ✓ **Adaptación cromática:** Capacidad del ojo humano para adaptarse a los cambios de iluminación preservando el color de los objetos
- ✓ **Ánodo:** Electrodo en el que se produce una reacción de oxidación, un material al perder electrones incrementa su estado de oxidación.

B

- ✓ **Bobina:** Elemento eléctrico, que se caracteriza por almacenar energía en forma de campo magnético, mismo fenómeno conocido como inducción magnética.

C

- ✓ **Candela por metro cuadrado (cd/m²):** Unidad de luminancia que relaciona la intensidad luminosa emitida por un proyector en una unidad de área.
- ✓ **Cátodo:** Electrodo que presenta una alteración, la cual consiste en recibir electrones producto de la reducción de su estado de oxidación
- ✓ **CCT:** Temperatura de Color Correlacionada. Determina el color de un haz luminoso en función de la temperatura térmica de un cuerpo emisor de luz.
- ✓ luminoso es la temperatura del cuerpo de un proyector térmico, que se utiliza para la descripción del color de su luz en grados °K.
- ✓ **Coefficiente de eficiencia energética (EER):** Relación entre la potencia instalada por unidad de área y la luminancia en dicha área, $EER=(W/m^2/(cd/m^2))$.
- ✓ **Coefficiente de utilización (CU ó K):** Variable que relaciona el flujo útil de una luminaria con el flujo útil total emitido por la misma.
- ✓ **CONELEC:** Concejo Nacional de Electricidad.

- ✓ **Conjunto óptico:** Parte de la luminaria que tiene como función orientar el flujo luminoso emitido por el equipo en direcciones controladas.
- ✓ **Contaminación lumínica:** Propagación de la luz artificial hacia el cielo nocturno.
- ✓ **Curva de Isolux:** Línea que une todos los puntos que tengan la misma iluminancia en el plano horizontal de un mapa de isolux, para una altura de montaje de 1m y un flujo luminoso referencial de 1000lm.

D

- ✓ **Densidad lumínica:** Es la impresión de claridad que tiene el ojo humano sobre una superficie o sobre la luz que se refleja en la misma, cabe recalcar que es la única variable fotométrica que el ojo humano puede percibir, se mide en [cd/m²]
- ✓ **Depreciación lumínica:** Disminución gradual del flujo luminoso durante el transcurso de la vida útil de la fuente luminosa.
- ✓ **Deslumbramiento:** Fenómeno producido cuando la luminancia emitida por un cuerpo luminoso es mayor a la luminancia adaptada del ojo humano, produciendo incomodidad, molestias o pérdida de la capacidad visual y visibilidad.
- ✓ **Diagrama polar:** Gráfica que representa en coordenadas polares la distribución de las intensidades luminosas en planos definidos. Planos C=0-180°, C= 90-270° y plano de intensidad máxima.

E

- ✓ **Efecto estroboscópico:** Ilusión óptica que ocasiona que un objeto móvil iluminado sea visible a intervalos de tiempo, dando la impresión de inmovilidad.
- ✓ **Efecto Flicker:** Es el efecto de parpadeo producido por cambios periódicos del nivel de luminancia en el campo de visión, consecuentemente da incomodidad y mareos al usuario. Se origina principalmente cuando no hay una buena regulación de voltaje en la luminaria.
- ✓ **Eta (η):** Mide el grado de eficiencia de una luminaria, al relacionar el grado de flujo luminoso libre que se desprende de la luminaria con la cantidad de flujo luminoso producido. Se mide en porcentaje.

F

- ✓ **Factor de mantenimiento (F_M):** Factor usado en el cálculo de la luminancia e iluminancia emitida por una luminaria al cabo de un determinado tiempo, se usa en diseño para establecer periodos de mantenimiento programado.
- ✓ **Fotometría:** Es la ciencia que basa su principio en el estudio y medida de la luz.
- ✓ **Factor de uniformidad general de la luminancia:** Medida que indica la variación de la luminancia incidida sobre una superficie, mediante la relación de la luminancia mínima y la luminancia promedio.
- ✓ **Factor de uniformidad longitudinal de luminancia (UI):** Se obtiene con la menor medida de la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima en sentido longitudinal y central de una calzada.
- ✓ **Factor de utilización de la luminaria (k):** Conocido también como coeficiente de utilización (CU).
- ✓ **Filtro armónico:** Conjunto electrónico que proporcionan una trayectoria de baja impedancia a tierra para los armónicos de voltaje o corriente, evitando su propagación a otros sistemas.
- ✓ **Flujo luminoso:** Variable que cuantifica la cantidad de luz que una fuente luminosa emite en todas las direcciones. Su unidad de medida en el lumen (lm)
- ✓ **Flujo luminoso nominal:** Flujo luminoso medido a las 100h de funcionamiento de la lámpara, en condiciones normales.
- ✓ **Flujo útil:** Flujo luminoso receptado por una superficie iluminada

H

- ✓ **HPS:** High Pressure Sodium, por sus siglas en ingles es la Luminaria de Vapor de Sodio de Alta Presión

I

- ✓ **Iluminancia (E):** Densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie. Medido en Luxes (lx)
- ✓ **Índice de reproducción cromática:** Factor que determina el aspecto cromático que presentan los objetos iluminados por una fuente determinada como luz de referencia. La luz de día se considera con un IRC: 100.

L

- ✓ **Lampara:** Equipo capaz de transformar energía eléctrica en energía lumínica.
- ✓ **Lumen (lm):** Unidad de medida del flujo Luminoso en el Sistema internacional (SI).
- ✓ **Luminancia (L):** En un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. Medido en (cd/m²).
- ✓ **Luminaria:** Sistema compuesto de una serie de accesorios eléctricamente conectados, que tienen por finalidad producir luz a través del suministro de energía eléctrica a una lampara.
- ✓ **Lux (lx):** Unidad de medida de iluminancia en el sistema internacional (SI). Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado lm/m².

M

- ✓ **Mapa de Isolux:** Mapa que une todos los puntos que tengan la misma iluminancia en el plano horizontal.
- ✓ **MERNNR:** Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables

P

- ✓ **Parterre:** Espacio estrecho y saliente que independiza dos calzadas de una vía.
- ✓ **PAT:** Puesta a tierra
- ✓ **Potencia nominal:** Potencia nominal requerida por un equipo eléctrico, para transformar la energía eléctrica en otro tipo de energía.

R

- ✓ **Rectificador:** Dispositivo eléctrico capaz de transformar la corriente alterna en corriente continua.

S

- ✓ **Sistema de Alumbrado Público:** Conjunto de luminarias, redes eléctricas, transformadores de uso exclusivo y en general todos los equipos necesarios para la prestación del servicio de alumbrado público.
- ✓ **Sobrevoltaje transitorio:** Son perturbaciones de voltaje en una línea que se caracteriza por ser de muy corta duración

- ✓ **Supervisor de fase:** Equipo eléctrico capaz de seccionar un circuito con la finalidad de proteger un sistema contra desbalances en el voltaje de alguna línea.

T

- ✓ **Temperatura de color:** Temperatura absoluta de un cuerpo negro radiador que tiene una cromaticidad igual a la de la fuente de luz.
- ✓ **THD:** Total Harmonic Distortion por sus siglas en ingles. Se refiere al total de frecuencias no fundamentales en una onda de corriente o voltaje.

V

- ✓ **Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI):** Valor que nos indica la relación entre la potencia instalada por unidad de área por cada 100lx producidos.
- ✓ **Varistor:** Elemento eléctrico usado como protección contra sobretensiones, se caracteriza dado que su comportamiento resistivo ante la presencia de tensión es inversamente proporcional a la misma, ofreciendo un recorrido de menor resistividad para la corriente en función de la tensión aplicada.
- ✓ **Vida física (de una fuente luminosa):** Indicador que nos permite cuantificar el tiempo de durabilidad de una instalación antes de su obsolescencia, se expresa en horas
- ✓ **Vida económica (de una fuente luminosa):** Indicador de tiempo, que nos muestra el periodo durante el cual es óptimo mantener funcional una fuente luminosa en términos de eficiencia y economía.
- ✓ **Vida útil (de una fuente luminosa):** Periodo de funcionamiento efectivo de una fuente que trabaja bajo condiciones y ciclos de trabajo nominales hasta que su flujo luminoso sea el 70% del flujo luminoso total.

RESUMEN

Se desarrolla un proyecto técnico orientado al cambio de un sistema de iluminación basado en tecnología HPS por uno basado en LED, evaluando directrices que llevan a la selección de un adecuado sistema de iluminación. La eficiencia energética es el beneficio más notorio de las luminarias led, así como su operación versátil en ambientes exteriores, consiguiendo un 56% de ahorro con respecto a la iluminación HPS y una duración en operación de 50000 horas con un FDFL del 94%. Sin embargo, la calidad de la iluminación sigue siendo el parámetro más importante del diseño, para una comparación entre las luminarias HPS y LED simulamos un escenario piloto con la ayuda de DIALux, donde se pudo ajustar los parámetros luminotécnicos a los exigidos por normativa internacional (CIE 115-2010) obteniendo una Lav del doble de la nominal en ambos casos, una Uo y Ul superior en led, un TI más bajo en led y un SR un 5% mayor en HPS. Luego de remarcar la eficiencia de las luminarias led, se llevó a cabo la simulación en un escenario muy próximo al de aplicación y con las luminarias seleccionadas procedimos al estudio de carga, dimensionamiento de protecciones y planos eléctricos en general.

ABSTRACT

A technical project is developed to change an illumination system based on HPS technology for one based on LED, evaluating the guidelines that lead to the selection of a suitable lighting system. Energy efficiency is the most notorious benefit of LED luminaires, as well as their versatile operation in outdoor environments, achieving 56% savings compared to HPS lighting and an operating life of 50,000 hours with a FDFL of 94%. However, the quality of lighting is still the most important parameter of the design, for a comparison between HPS and LED luminaires we simulated a pilot scenario with the help of DIALux, where we could adjust the luminotechnical parameters to the required by international standards (CIE 115-2010) obtaining a L_{av} twice the nominal in both cases, a higher U_0 and U_1 in LED, a lower TI in LED and a 5% higher SR in HPS. After highlighting the efficiency of the LED luminaires, the simulation was carried out in a scenario very similar to the application scenario and with the selected luminaires we proceeded to the load study, protection sizing and electrical plans in general.

INTRODUCCIÓN

El alumbrado público es un servicio indispensable en el desarrollo de las actividades nocturnas en una sociedad, permitiendo dar continuidad a las actividades humanas durante las horas en las que la luz natural no está disponible [1]. Servicio considerado como un derecho obtenido cuando una persona pasa a ser usuario del servicio de energía eléctrica [2], [3]. Las garantías de funcionalidad y calidad del servicio deben estar avalados por organismos certificados, que regulen estándares de valores mínimos y máximos en función de los tipos de espacios a ser iluminados [1], [4]–[9]. En la actualidad el alumbrado público crece en función del crecimiento de otros grupos de consumo como lo son residencial, comercial e industrial, siendo el primero el grupo que más demanda de este servicio [3]. De esta manera se podría decir que la cobertura de este está garantizada por el crecimiento de la demanda de energía eléctrica. Al ser un servicio de demanda creciente, se debe innovar en tecnologías de mayor eficiencia, en el Plan Maestro de Electrificación 2013-2022 la CONELEC preveía que la demanda de este servicio en el 2022 sería de 1.077GWh debido a la inserción de la tecnología LED en el Alumbrado Público [3], sin embargo, solo en el 2015 se alcanzó 1.081GWh [10] de consumo, es notable que aún al año 2022 se siguen usando luminarias de tecnologías convencionales, específicamente HPS (High Pressure Sodium), mismas que no alcanzan un mínimo del 70% de eficiencia e IRC (Índice de Reproducción Cromática) [11][12], sumado a que requieren de mantenimientos constantes , usualmente a las 12000 horas de funcionamiento [13]–[17]. En este proyecto nos planteamos realizar un diseño de Alumbrado Público que vaya acorde a estándares de calidad nacionales (basados en la CIE 150, CIE 115, IESNA) y que garantice valores óptimos de parámetros objetivos y subjetivos (IRC, temperatura de color, deslumbramiento) [4], [18]–[20], para poder alcanzar esto es necesario justificar mediante simulaciones comparativas en DIALux la calidad de la iluminación LED vs

HPS, el ahorro energético, el ahorro en mantenimiento y el retorno de la inversión para el montaje de un sistema basado en iluminación LED y la calidad de la energía.

Para poder realizar la comparación, se puede optar por el método de grillas, que se basa en ubicar en una calzada puntos repartidos uniformemente a lo largo y ancho de la misma en un espacio de simulación usualmente entre dos mástiles, en este espacio se pueden obtener valores de iluminancia, luminancia en cada punto, hay que sostener que la curva fotométrica de la luminaria juega un rol importante y en base a esto se puede obtener valores de uniformidad horizontal y longitudinal [21]–[24], sin embargo realizar este cálculo punto a punto resulta poco eficiente, para ello es necesario el uso de software computarizado que ejecute la tarea de cálculo en una fracción de tiempo, permitiéndonos modelar diferentes tipos y marcas de luminarias, hasta obtener la luminaria optima a nuestro tipo de entorno de simulación, considerando prioridad la calidad fotométrica y segundo la eficiencia energética del conjunto. Para el análisis comparativo de calidad de la luz se equipará una luminaria HPS con una LED en función de los lúmenes producidos por la misma, en ambos casos deben cumplir con los valores mínimos y máximos dispuestos por normativas, solo de esta manera se puede a proceder a un análisis de relación calidad-eficiencia, teniendo que en otros estudios se ha logrado conseguir hasta un 60% de ahorro energético [11], [13], [18], [23], [25], manteniendo la calidad de la luz por encima de valores nominales. Por último, para determinar la factibilidad de la implementación de un sistema basado en luminarias LED, usamos un indicador de tiempo (ROI) que relacione el costo inicial por el montaje de n luminarias en 1Km de calzada con el ahorro anual en costos de operación generados por la implementación del sistema basado en LED y el ahorro anual en costos de mantenimiento. Asociado al ahorro en mantenimiento los sistemas y subsistemas deben cumplir con una serie de parámetros de protección y calidad de la energía [19], [25]–[29], que incluyan supervisores de fase, de tal manera que ante la ausencia de voltaje en una línea puedan desconectar totalmente la energía en el sistema; sistema de puesta a tierra para disipación de corrientes de fuga y otras anomalías en general; SPD's para la disipación a tierra de voltajes transitorios, por garantía de fabrica cada luminaria debe poseer un SPD tipo I integrado al circuito de la luminaria y por garantías de diseño se debe considerar un SPD tipo II aguas abajo del medidor de energía.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Diseñar un sistema de alumbrado público intervenido con tecnología LED considerando el uso de conjuntos eléctricos de iluminación de alta eficiencia (lm/w) y cumplimiento de las características fotométricas establecidas por la RTE-INEN-069 “Alumbrado Público” para circulación peatonal y motorizada.

Objetivos específicos

- ✓ Comparar mediante modelos de cálculo y gráficas la eficiencia en operación y consumo energético entre las lámparas de sodio de alta presión (actualmente funcionando en el sistema) y las lámparas led en alumbrado público
- ✓ Comparar mediante el uso del Software libre Dialux las características fotométricas entre las luminarias de sodio de alta presión y las lámparas led de alumbrado público
- ✓ Realizar un análisis temporal (años) de los costos de mantenimiento del alumbrado público led vs el alumbrado público convencional.
- ✓ Maximizar la vida útil de las instalaciones y elementos eléctricos y electrónicos mediante la implementación de un sistema de PAT y protecciones contra sobrevoltajes transitorios

Alcance

Garantizar que el sistema de Alumbrado Público Intervenido proporcione óptimos niveles de flujo luminoso, índice IRC (Índice de reproducción cromática) e iluminancia y baja contaminación lumínica con la finalidad de generar confort visual tanto en peatones como para conductores de motorizados en la Av. De los Cofanes en la localidad de Lumbaqui, Gonzalo Pizarro, Sucumbios. Proporcionar funcionalidad y durabilidad de las instalaciones y sus componentes mediante estudios de cargabilidad, filtrado de distorsión armónica, el uso de equipos disipadores de sobrevoltajes transitorios, así como también el uso de supervisores de fase con la finalidad de reducir en la manera más ampliada posible los mantenimientos eléctricos en

alturas a corto y mediano plazo. Implementar al diseño un sencillo sistema de puesta a tierra con el uso de varillas copperweld y conductores de cobre desnudo, su modelamiento se lo hará mediante el uso del software ETAP. Todo está enfocado al ahorro energético, ahorro en mantenimientos y como indirectos recuperación de la inversión y reactivación económica de la zona. Cabe recalcar que para este propósito se han seleccionado lámparas Ledvance modelo StreetLight, por cuestiones netamente relacionadas al tiempo de operación, características eléctricas y la calidad de las partes físicas de la luminaria, además de la disposición de sus características fotométricas para una simulación computarizada del sistema de iluminación en el software libre Dialux.

CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los sistemas de alumbrado público basados en tecnología convencional actualmente no son la vanguardia en cuanto a tecnología en iluminación de vías, ni se ajustan a las exigencias en cuanto a eficiencia energética, sin embargo, en el Ecuador sigue siendo una tecnología muy usada en proyectos que impliquen la implementación de alumbrado público. En el caso de las luminarias de Vapor de Sodio a Alta Presión (HPS por sus siglas en inglés) estas poseen buenas características en eficiencia [lm/w], sin embargo, descompensan notablemente la calidad de la luz, con un índice de reproducción cromática de 25/100, cuando en las normativas actuales se sugiere que el IRC no sea menor a 70/100. El alto consumo de energía por cada equipo encarece los costos operativos del sistema, como también los gastos necesarios en inversión inicial debido a que los estudios de carga exigen usar cables y equipos de mayor ampacidad. En cuanto a los mantenimientos estos suelen conllevar un reemplazo de todas las partes internas de la luminaria, esto debido a que las luminarias convencionales poseen varias partes y reemplazar solo una no garantiza el funcionamiento de la luminaria. Es por ello por lo que se debe optar por nuevas tecnologías, que dependan exclusivamente de pocos elementos y que su operación sea rápida y eficiente con niveles fotométricos óptimos, en la actualidad la iluminación Led ofrece todas estas bondades. El Plan Maestro de Electrificación nos muestra que la participación del Alumbrado Público (AP) en los grandes grupos de consumo energético en el Ecuador era del 5% en el año 2012 y las estimaciones de como este sector de consumo va a expandirse son poco predecibles dado que la regulación CONELEC 008/11 fijó el servicio de AP como un derecho que tienen todos aquellos clientes del servicio eléctrico, dejando de tomarse en cuenta su crecimiento por usuarios [3]. Su tasa de crecimiento por clientes a partir del año 2012 es del 0%, su crecimiento en demanda energética hoy en día está directamente ligado a la expansión de otros sectores de consumo energético, principalmente el residencial y comercial. Las proyecciones del crecimiento anual de la carga energética en el AP son de 2,4% para los años 2013-2022 a diferencia de lo que mostraban los resultados en los años 2001-2012 que eran de 3,3% y 3,4% de crecimiento energético anual del AP [3]. Esta diferencia se debe principalmente a la incorporación de nuevas tecnologías más eficientes estimando que para el año 2022 el sector de consumo AP tendrá una

demanda anual de 1.077GWh, sin embargo, solo en el Balance Energético Nacional realizado por el MERNNR anualmente, en el año 2015 la demanda del AP en el Ecuador fue de 1081GWh [10].

Tenemos una clara evidencia de que no se está innovando en este sector, por lo tanto sujetos a normativas y sugerencias de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética recaemos en la tarea como futuros profesionales y los GAD's como instituciones administradoras de territorios de realizar proyectos que ayuden a mitigar la baja eficiencia de los sistemas de AP actuales y reemplazar estos por nuevas tecnologías cuando su vida útil haya llegado a su fin o en su defecto en base a estudios costo-beneficio verificar si es factible reemplazar un sistema funcional por un nuevo sistema basado en tecnología led [2].

CAPÍTULO II ESTUDIO TÉCNICO DE LAS LUMINARIAS HPS Y LED

Si bien las luminarias led poseen alta eficiencia energética los primeros diseños no brindaban calidad en la iluminación, así como tampoco variedad en el mercado y eso es común cuando un invento está comenzando a surgir. Por ello es necesario añadir los estudios fotométricos a los estudios de eficiencia, dado que los diseños deben primero priorizar la calidad de la luz por sobre el ahorro energético cuando el objetivo es brindar confort visual [30].

2.1 Situación Actual del Sistema Eléctrico

Para poder realizar un estudio de eficiencia y por las características del proyecto, es necesario hacer cálculos comparativos que impliquen realizar una descripción de la infraestructura en el sitio, un cálculo de potencia consumida por el sistema en estado de funcionamiento óptimo y una serie de mediciones eléctricas en las instalaciones actuales.

2.1.1 Infraestructura.

La descripción de la infraestructura es necesaria debido a que se debe conocer cada una de las componentes del sistema de forma detallada, así como la funcionalidad. En este apartado también se describirá cada una de las partes del sistema. Además, hay que tomar en cuenta un dato muy importante como es la fecha en que la obra fue entregada por la administración de aquel entonces:

Tabla 1-Administración ejecutora de la construcción del alumbrado actual

Fecha de entrega de Obra	
Administración	2006-2010
Alcalde	Luis Ordoñez Inga
Contratista	Ing. Victor Olalla Aguirre
Fecha de firma de contrato	20 de septiembre del 2006
Fecha de recepción de la obra	13 de octubre del 2006

- ✓ Es decir que al año actual 2022 el sistema tiene aproximadamente 16 años de funcionamiento.

El sistema está compuesto de las siguientes partes, que luego serán descritas de forma más detallada.

Tabla 2-Especificaciones base del circuito 1

ESPECIFICACIONES BASE DEL CIRCUITO 1				
CANTIDAD	ELEMENTO	PARAMETROS ELÉCTRICOS		ESPECIFICACIÓN
1	Transformador 1 Ø	S 25kVA	VP/VS 13.8kV/240V	Convencional 1Ø
48	Luminaria de AP: 1 lampara HPS 1 aparato con elementos	Potencia de carga 250W	Voltaje de operación 240V	Lampará de Vapor de Sodio a Alta Presión (HPS)
1	Relé de control: 1 fotocélula 1 contactor	Corriente 80Amp	Voltaje de operación Bobina 240V	Contactor AC3 Fotocélula
		Voltaje máximo de operación contactos 690V		
24	Poste Metálico			12mts-Doble disposición

Tabla 3-Especificaciones base del circuito 2

ESPECIFICACIONES BASE DEL CIRCUITO 2				
CANTIDAD	ELEMENTO	PARAMETROS ELÉCTRICOS		ESPECIFICACIÓN
1	Transformador 1 Ø	S 25kVA	VP/VS 13.8kV/240V	Convencional 1Ø
48	Luminaria de AP: 1 lampara HPS 1 aparato con elementos	Potencia de carga 250W	Voltaje de operación 240V	Lampará de Vapor de Sodio a Alta Presión (HPS)
1	Relé de control: 1 fotocélula 1 contactor	Corriente 80Amp	Voltaje de operación Bobina 240V	Contactor AC3 Fotocélula
		Voltaje máximo de operación contactos 690V		
24	Poste Metálico	-----		12mts-Doble disposición

De manera descendente el sistema está compuesto por seis etapas la primera consta de la transformación de voltaje, la segunda del cableado de alimentación, la tercera de la medición y cuantificación de la energía, la cuarta es la etapa de control, la quinta de ramificación y la sexta de carga (Anexo 2) (Anexo 3).

Primera Etapa-Transformación.

Se trata de llevar el voltaje monofásico de la red primaria a un voltaje monofásico operativo para las luminarias y equipos adicionales, mediante el uso de dos transformadores de voltaje uno para cada circuito respectivamente y que poseen las siguientes características:

Tabla 4-Datos de los transformadores operando in situ

DATOS DE LOS TRANSFORMADORES C1 Y C2	
Potencia aparente	25kVA
Sistema	1Ø
Voltaje del primario	13,8kV
Voltaje del secundario	220V-2F+N
Tipo de refrigeración	ONAN
Tipo de transformador	Convencional-Aéreo
Frecuencia	60Hz
BIL	110

El mismo escenario se repite en el otro transformador.

Segunda Etapa-Alimentación.

Se trata del conjunto de conductores que se encargan de conectar eléctricamente la red con la carga y también de conducir la corriente demandada por la misma. Los conductores usados en este sistema de AP tienen las siguientes características:

Tabla 5-Características de fábrica de conductores operando in situ

Características Cables de Alimentación	
Material	Cu
Calibre	2 Awg
Tipo de trenzado	7 hilos
Material de aislamiento	PE-PVC
Tipo de enchaquetado	TTU
Temperatura max operación	60°C
BIL	2kV
Tipo de red	Aérea-Soterrada

En el sistema actual los cables se encuentran en una red aérea que luego pasa a la carga de forma soterrada a 0.5m de profundidad.

Tercera Etapa-Medición y Cuantificación

Si bien el consumo no es directamente pagado por la municipalidad a la empresa distribuidora CNEL-Sucumbios el municipio está en la obligación de tener un contador

de energía para que la empresa pueda tener registro del consumo energético del sistema para efectos varios como:

- ✓ Verificación de consumos anormales
- ✓ Base de datos de consumo mensual
- ✓ Poder promediar el costo del servicio de AP en la zona de influencia

El sistema consta de un contador de energía electrónico con pantalla digital para cada circuito ramal del sistema.

Cuarta Etapa-Control

El sistema consta de un sistema de control muy usado en los sistemas de alumbrado público como es el uso de un relé de control, el mismo que está compuesto por:

- ✓ Gabinete con pintura electrostática (anaranjado)
- ✓ Breaker de 2 polos 63Amp
- ✓ Contactor electromagnético de 80Amp
- ✓ Focélula con base

Quinta Etapa-Derivación

El sistema posee un eje central en el cableado que es de las mismas características que el cable de alimentación, de este cable se derivan cables de menor calibre con las siguientes características.

Tabla 6- Características de fábrica de los cables de derivación

Características de los Cables de los Circuitos de Derivación	
Material	Cu
Calibre	12 Awg
Tipo de trenzado	7- hilos
Material de aislamiento	PVC-Nylon
Tipo de enchaquetado	THHN
Temperatura max operación	60°C
Nivel de aislamiento	600V

La instalación actual es muy sencilla, puesto que los cables de derivación empalman con los cables ejes portantes de energía, luego suben por las estructuras hasta llegar a la carga (luminarias).

Sexta etapa-Carga

La carga son básicamente las luminarias HPS y están compuesta por una serie de elementos tales como la lampara de vapor de sodio de 250W además para propósitos de arranque y operación este tipo de luminaria necesita de más elementos eléctricos como:

- ✓ Balastro
- ✓ Ignitor
- ✓ Capacitor
- ✓ Lámpara de vapor de sodio a alta presión

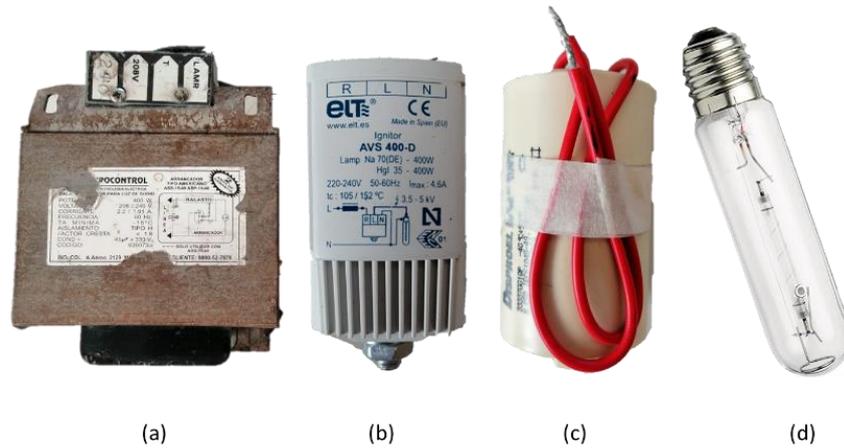


Figura 1- Componentes de la luminaria HPS (a) Balastro (b) Ignitor (c) Capacitor (d) Lámpara HPS.
Fuente: [autor]

En el sistema actual los postes poseen las siguientes características.

Tabla 7- Características de postes ornamentales

Características de Postes Ornamentales	
Material	Hierro
Altura	12m
Base 1	Empernada
Base 2	Hormigón

2.1.2 Análisis de carga en el sistema actual tomando en cuenta un funcionamiento ideal.

El actual sistema puede ser analizado a partir de su comportamiento eléctrico en estado normal, es decir obtener una estimación del consumo eléctrico del sistema cuando este está totalmente operativo y sin ningún tipo de fallas en instalaciones o equipos.

Para ello vamos a tomar en cuenta la potencia de placa de las luminarias y las pérdidas generadas por ir^2 en los conductores. [8]

Para el cálculo se ha tomado en cuenta la plantilla propuesta por la EEQ “Normas para Sistemas de Distribución-Parte A” para efectos de cálculos de demanda en los sistemas de distribución, donde se contemplan términos como:

➤ Carga Instalada (CI)

Se refiere al total de potencia activa que consume un determinado grupo de cargas iguales. Se calcula de la siguiente manera [8]:

$$CI(w) = Cant * Pn(W) \tag{1}$$

➤ Factor de frecuencia de uso (FFUn)

El factor de frecuencia es un valor que se expresa en porcentaje, que se determina para cada una de las cargas instaladas en función del número de usuarios que se considera que disponen del equipo correspondiente dentro del grupo de consumidores, en el caso del sector industrial y comercial se considera un FFUn del 100% [8].

➤ Carga Instalada por Consumidor Representativo (CIR)

Se refiere a la carga instalada tomando en cuenta el factor de frecuencia de uso y se calcula de la siguiente manera [8]:

$$CIR(w) = CI(w) * FFUn * 0,01 \tag{2}$$

➤ Factor de simultaneidad (FSn)

Determina la incidencia de la carga considerada en la demanda coincidente durante el periodo de máxima solicitud. Se trata también de un valor porcentual y es determinado mediante criterios previamente estudiados. [8].

➤ Demanda Máxima Unitaria (DMU)

La demanda máxima unitaria se refiere al valor máximo de la potencia que en un intervalo de 15 minutos es requerida de la red [8].

$$DMU(w) = CIR(w) * FS_n * 0,01 \quad (3)$$

➤ Demanda Máxima Diversificada (DMD)

Hace referencia al pico de demanda por cliente, en este caso tenemos un solo sistema conectado por cada transformador, por lo tanto, nuestra demanda máxima diversificada será igual a la demanda máxima unitaria DMU [8].

➤ Demanda de Pérdidas Técnicas Resistivas (DPT)

La demanda de pérdidas técnicas es calculada en base a las pérdidas resistivas sufridas en los conductores, son valores que ya han sido tabulados por la EEQ y corresponden al 3,6% de la DMD [8].

$$DPT = DMD(w) * 0,036 \quad (4)$$

➤ Demanda de Diseño en las bornas del Secundario del Transformador (DD)

La demanda de diseño nos permite dimensionar la potencia aparente de nuestro equipo de transformación, así como conductores, fusibles y demás elementos usados para protección y control del sistema [8]. Para ello empleamos la siguiente fórmula:

$$DD(kVA) = \frac{DMD + Dpt}{0,92} \quad (5)$$

Donde 0,92 se refiere al factor de potencia mínimo reglamentario en el Ecuador para cualquier usuario del servicio eléctrico público.

Tabla 8- Demanda de diseño en el secundario del transformador.

APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO				FFUn	CIR	FSn	DMU	
REGLON	DESCRIPCIÓN	CANT	Pn(W)	CI(W)	(%)	(W)	(%)	(W)
1	Luminaria HPS	96	250	24000	100	24000	60	14400
TOTALES								14400
Factor de demanda (FDM)								
DMU/CIR		=	0.6					
Factor de potencia		=	0.85					
DMU (kVA)		=	16.94	Demanda máxima unitaria				
N		=	1	Número de abonados comerciales o industriales				
FD		=	1	Factor de diversidad (en función de N)				
DPT (kVA)		=	0.61	Demanda de pérdidas técnicas resistivas (3.6%)				
DD (kVA)		=	17.55	Demanda de diseño en las bornas del secundario del transformador				

La potencia de demanda DD en los secundarios de los transformadores es bastante pequeña tomando en cuenta que los 17.55kVA se reparten simétricamente para cada transformador es decir 8.78kVA de carga por cada transformador lo cual representa solamente:

$$\%Carga = \frac{DD * 100}{Potencia Nominal del Transformador} \quad (6)$$

$$\%Carga = \frac{13.51kVA * 100}{25kVA}$$

$$\%Carga = 35.12\%$$

Es decir que tenemos un sobredimensionamiento en los transformadores utilizados tomando en cuenta que la carga conectada a los mismos es fija y no es está sujeta a expansión de carga.

2.1.3 Mediciones in situ

Para las mediciones de campo obtendremos datos de corriente, voltaje y frecuencia tomando en cuenta que muchos equipos del sistema no están funcionales, así que **se realizará una aproximación en el cálculo en base al consumo de energía de los equipos en función** para efectos de comparación entre el consumo ideal y el real.

Tabla 9- Cuantificación de equipos de iluminación funcionales por circuito.

Estado del Sistema de Iluminación		
Circuito 1		
Cantidad de Luminarias	Cantidad de Luminarias Funcionales	Detalle
48	0	El circuito se sacó de servicio debido a una gran fuga de corriente a tierra, los termomagnéticos se disparaban a las dos horas de funcionamiento
Circuito 2		
Cantidad de Luminarias	Cantidad de Luminarias Funcionales	Detalle
48	19	Funciona el 39.58% de las luminarias

Las mediciones realizadas en el circuito dos, que es el circuito que se encuentra funcional al momento nos arrojaron las siguientes medidas.

Tabla 10-Medición de magnitudes eléctricas principales en el sistema actual

Mediciones In Situ Circuito 2 (único funcional)		
Detalle		Unidad
Voltaje	238	V
Corriente	52	A
Frecuencia	60	Hz

Para el calculo de la demanda real vamos a realizar una aproximación, en base al dato de corriente y voltaje medido en sitio, del consumo de corriente medido en el Circuito 2 (52 A) dividiremos para las 19 luminarias funcionales y este valor lo multiplicamos por 48, que es el número de luminarias instaladas en el sitio (funcionales y no funcionales), seguido procedemos con el calculo de potencia aparente.

Para el circuito ideal simplemente se calcula la corriente consumida por una luminaria de 250W operando a un voltaje de 240V y con un fp de 0.92.

Tabla 11-Aproximación de la potencia real e ideal in situ

Aproximación de la potencia real e ideal in situ					
Descripción	Corriente por luminaria [A]	Voltaje de operación	Cantidad de equipos	Factor de potencia mínimo	Potencia aparente demandada [KVA]
Circuito funcional (Corriente de 19 lámparas funcionales medida en sitio)	2.74	240	48	0.92	29
Circuito ideal (Placa: 250W)	1.13	240	48	0.92	12

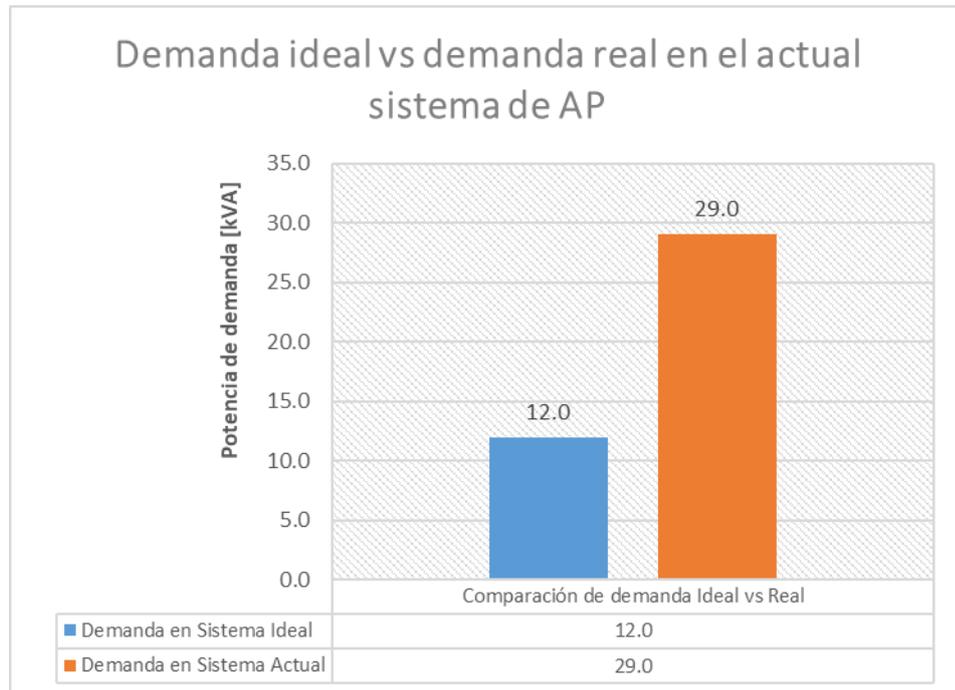


Figura 2- Comparación entre consumo ideal vs consumo real. Fuente: [autor]

Es notable la diferencia en la potencia de consumo real con respecto al consumo ideal, esto puede deberse a razones como desgaste en conductores, deterioro en los equipos y principalmente fugas a tierra. Estas diversas razones son un punto para tener en cuenta a la hora de seleccionar materiales y características constructivas en el nuevo diseño a realizarse.

2.2 Partes de la Luminaria de Alumbrado Público HPS

Las partes de las luminarias HPS están descritos de tal manera que se pueda asociar el comportamiento y la tarea de cada componente en la operación y mantenibilidad de voltaje, corriente y factor de potencia.

2.2.1 Ignitor

Es un dispositivo especialmente elaborado para dar un tren de pulsos de voltaje a la lámpara, mismo que servirá para crear la descarga dentro del tubo de descarga, estos trenes de pulso son entre voltajes de 1.5kV-5kV [4]. El golpe inductivo producido por el ignitor en la bobina del balastro hace que este se cortocircuito y se abra en cada pulso. Dependiendo la potencia de la lámpara un tren de pulsos puede ir de dos a seis

pulsos en cada semiciclo de onda dependiendo la norma puede variar en el semiciclo positivo o en el semiciclo negativo [31].

Tabla 12-Especificaciones de la tensión de operación de un ignitor. Fuente [31]

Especificaciones de la Tensión de Amplitud de Pulso y Voltaje en Circuito Abierto de los Reactores			
Potencia de la Lámpara [w]	Amplitud del Pulso [V]		Voltaje en el Circuito Abierto [Vrms]
	Valor Mínimo		Valor Mínimo
	IEC	NEMA	IEC/NEMA
70, 50	1775 ±25		195
150, 250, 400	2775±25	2225±25	195
1000	2675±25		456 e 195

Por lo general este dispositivo de la luminaria lleva impreso en su carcasa el esquema de conexión de las partes de la luminaria y su forma física puede variar según el tipo de fabricante o las características de operación que debe cumplir el mismo.

2.2.2 Balastro

El balastro es un elemento inductivo que proporciona un perfil de voltaje elevado para el encendido de la lámpara, también ayuda a mantener la tensión adecuada en la lámpara independientemente de las fluctuaciones de voltaje en la red de alimentación. Debido a las características en cuanto a la resistencia negativa de las lámparas de gases el balastro también sirve como un limitador de corriente, controlando el flujo de la misma cuando se aplica un voltaje, en concreto mantiene una resistencia positiva durante la operación del circuito [4], [32].

2.2.3 Capacitor

El capacitor es el elemento usado para corregir el factor de potencia, efecto que se genera debido al alto valor inductivo de los balastros en la fase de arranque y operación. Este equipo se conecta en paralelo a las dos líneas de alimentación y ayuda a mantener un limitado desfase entre voltaje y corriente en la red de alimentación [4], [7].

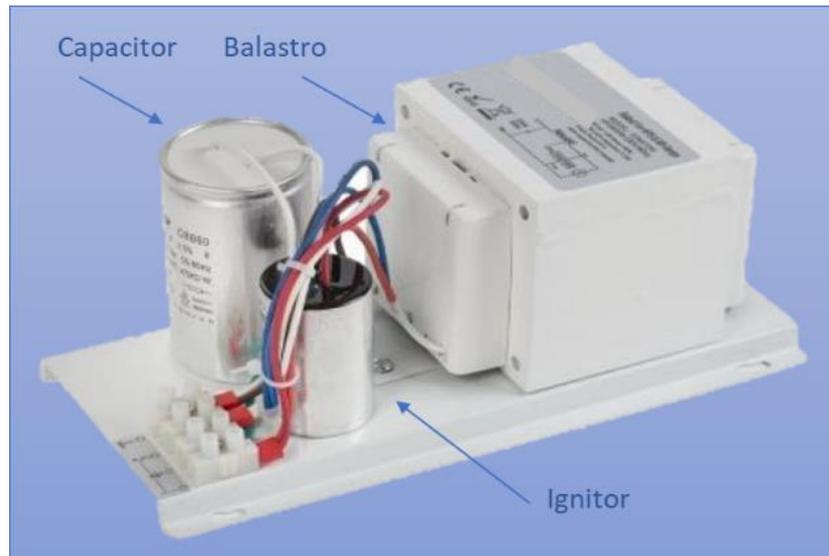


Figura 3- Conjunto eléctrico de la luminaria HPS. Fuente: [autor]

2.3 Principios de funcionamiento de la Lámpara de Alumbrado Público HPS

La luminaria de vapor de sodio es una de las luminarias de uso clásico en los sistemas de alumbrado público. En el espectro visible para el ojo humano las lámparas HPS trabajan en el rango de 589nm a 590nm, la función de eficiencia luminosa es de 555nm, el color que se percibe a esta frecuencia de onda es amarillento, este color no posee un buen índice de reproducción cromática por eso no es considerada una luminaria eficiente en términos de visión. [30]

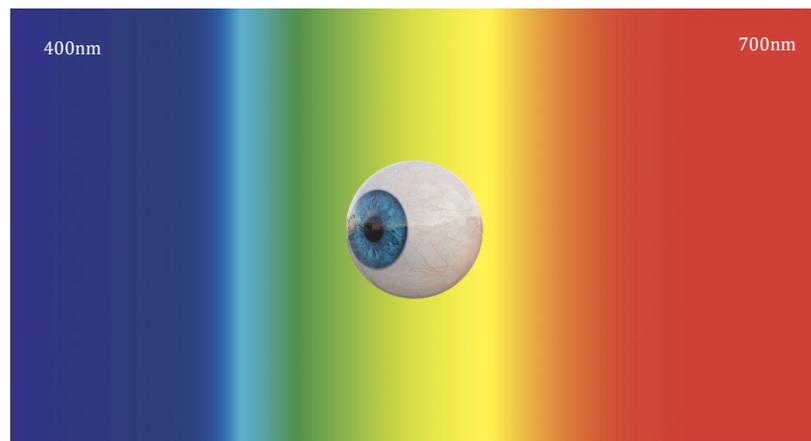


Figura 4-Espectro de radiación electromagnética visible. Fuente: [autor]

La lámpara HPS además del sodio y del cristal que lo conforma, también contiene mercurio elemento que sirve para poder mejorar el perfil de voltaje en el arranque de la luminaria mientras que gases como el Xenón y el Argón proporcionan una mejor radiación radioactiva que se emana inmediatamente una vez que se rompe el arco

eléctrico [30]. El funcionamiento se repite al igual que en otras luminarias de gases como la de mercurio y la de halogenuros metálicos, un gas noble bien sea el Argón o el Xenón actúa como primer elemento que se enciende una vez creada la diferencia de potencial entre los electrodos [30]. Cuando la lampara se ha calentado entra el mercurio para ser el gas que se encargue de llevar la presión dentro de la luminaria a tal punto que se establezca una presión saturada de sodio y sea en este punto que el sodio domine la radiación en la luminaria, mientras el voltaje sigue siendo dominado por el mercurio debido a que mantiene un voltaje elevado dentro de la lampara [4], [32].

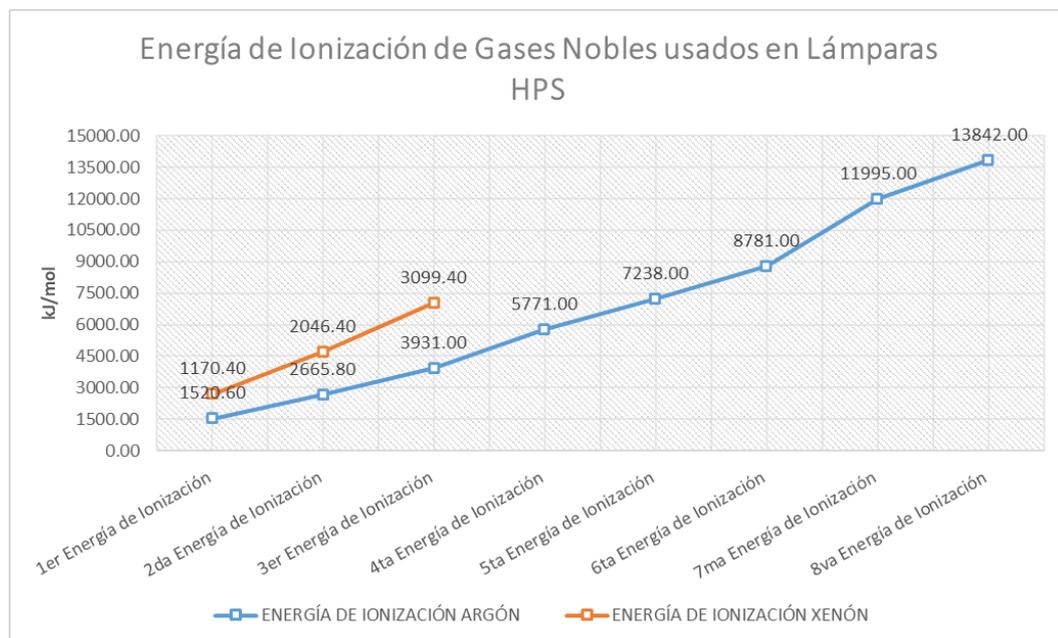


Figura 5-Energía de Ionización de gases usados en luminarias HPS. Fuente: [34]

Todo el proceso de ionización de los distintos gases es llevado a cabo dentro del tubo de la lampara HPS, el cual está conformado de Oxido de Aluminio o también conocido como Alúmina, específicamente la Alúmina Policristalina Sinterizada, este material cumple con los requisitos indispensables para poder soportar todo el proceso de ionización, son posibles hasta 1800°C, posee resistencia química y es transparente (Anexo 4).

2.4 Partes de la Luminaria de Alumbrado Público LED

Es necesario describir cada una de las componentes involucradas en la operación de la luminaria LED, de tal manera que se conozca como su composición influye en los parámetros fotométricos y eléctricos de la luminaria.

2.4.1 Lente Óptico

Este elemento está basado en el diseño de espejos y lentes que ayudan a controlar la luz proyectada, con la ayuda de este elemento se determina en gran parte las curvas de Isolux de la luminaria led, así como también permiten proteger al usuario del deslumbramiento [30], [35]. Como segunda medida el lente óptico permite sumar una protección ambiental a los chips. En el caso de las luminarias led para alumbrado público el tipo de lente que se usa es de tipo asimétrico ya que permite distribuir la luz en zonas concretas evitando pérdidas de lumínicas [36].

2.4.2 PCB -Tiras LED

Este elemento es parte integral de la luminaria y consta de varias conexiones en serie y paralelo de tiras de LED's son conocidos como SMD (Surface Mounted Device). En estas se ensamblan todas las partes correspondientes a interconexiones entre elementos. El tipo de SMD es variable en función del tipo de luminaria [36].

2.4.3 Driver

Es el elemento eléctrico más importante de la luminaria, ya que de este depende el suministro de voltaje continuo a la placa PCB, su tarea fundamental es convertir el voltaje AC a voltaje DC y en el proceso mantener una estabilidad de corriente y frecuencia. Es importante mencionar que el brillo producido por un LED es directamente proporcional al nivel de corriente que se le suministra, así cuando los mA sean más bajos de los especificados por el fabricante el led brillará menos y lo contrario cuando los mA son más elevados de lo especificado [35], [37].

A la hora de seleccionar la luminaria hay que asegurarse que el factor de potencia proporcionado por el driver sea mayor a 0.92 así como la eficiencia debe ser no menor al 85%. [9].

2.4.4 Surge Protection Device (SPD)

Son elementos de protección contra sobretensiones transitorias, que mediante el uso de un varistor por línea permite el filtrado hacia tierra de sobrevoltajes transitorios, su utilización ayuda a prolongar la vida útil de los equipos del sistema y es un elemento adicional en el sistema de protecciones.



Figura 6-Conjunto eléctrico de una luminaria LED. Fuente: [autor]

2.5 Principios de funcionamiento de la Lámpara de Alumbrado Público LED

El principio de funcionamiento del Diodo Emisor de Luz (LED) en términos eléctricos es el mismo que un diodo común, usado en circuitos de rectificación y se modela mediante la curva de polarización del diodo [35], [37].

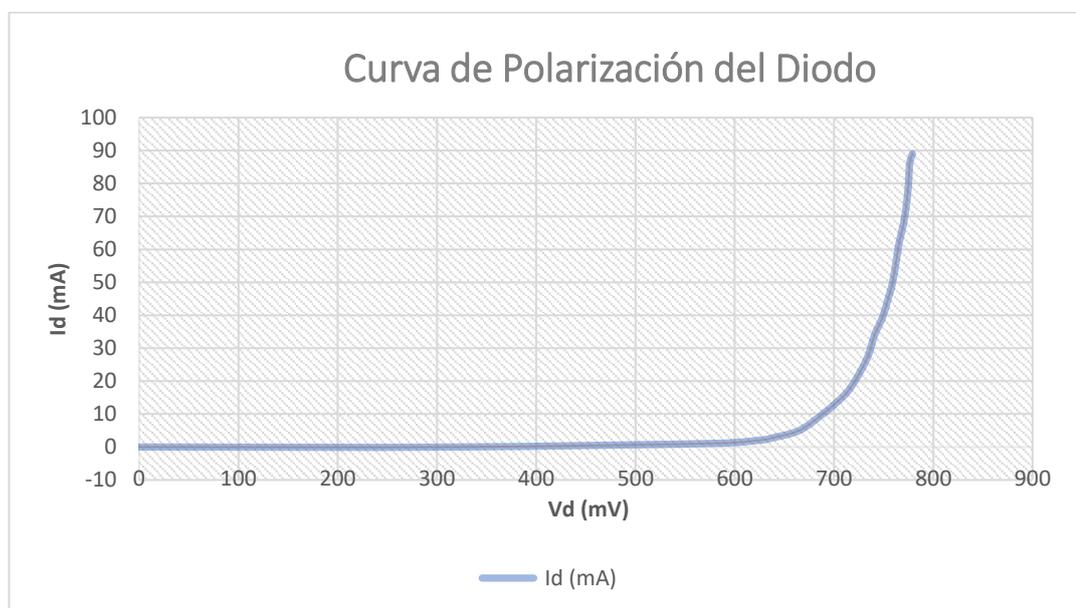


Figura 7-Curva de Polarización del Diodo. Fuente: [autor]

Una corriente con una diferencia de potencial superior a la tensión de polarización del diodo permite que los electrones del terminal positivo se muevan hacia el lado negativo atravesando la unión PN al recombinarse los electrones con los huecos libres que dejan

otros electrones se libera energía en forma de luz [30], [35]. El color desplegado a partir de este proceso es dependiente de la banda de energía del elemento semiconductor y es proporcional a la energía del propio fotón [37].

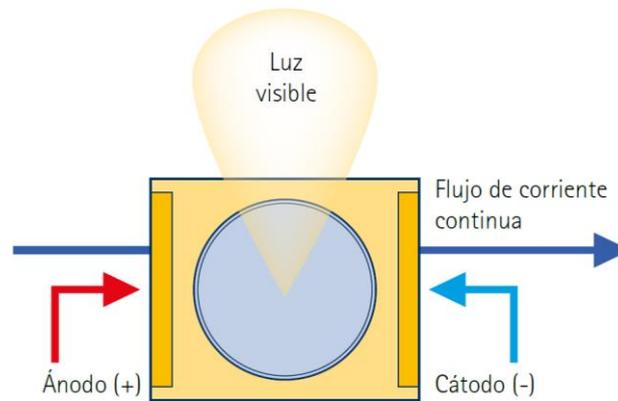


Figura 8-Emisión de luz de un LED. Fuente: [35]

Al igual que el color, el flujo luminoso producido por la lampara es equivalente a la corriente en mA, no en todas las luminarias va a ser igual debido a la gran variedad de marcas y diseños, pero se asumen valores promedios en luminarias que cumplen con los requerimientos mínimos exigidos por los organismos regulares en cuanto a la corriente consumida vs los lúmenes aportados.

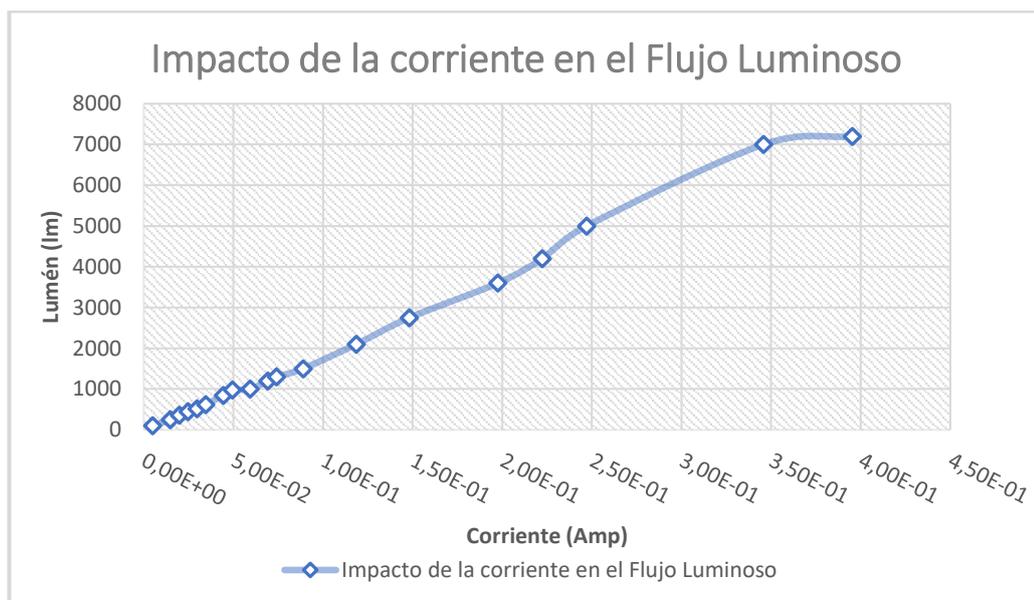


Figura 9-Impacto de la corriente vs el flujo luminoso. Fuente: [autor]

2.6 Estudio de Eficiencia Energética

En esta sección se explican los principios de funcionamiento de las luminarias LED y las luminarias de vapor de sodio a alta presión (HPS) se estudiarán características como:

- Análisis comparativo de eficiencia energética y calidad de la luz
- Calidad de la energía en las luminarias LED

2.6.1 Análisis comparativo de eficiencia energética y calidad de la luz

Esta parte se centra específicamente en presentar y comparar datos respecto a indicadores de eficiencia tales como:

- ✓ Análisis comparativo en calidad de la luz entre las luminarias HPS y LED
- ✓ Ahorro energético en base a análisis anual y determinación del ROI
- ✓ Vida útil y depreciación luminosa

El antepenúltimo indicador toma en cuenta una parte muy importante como es la duración del sistema en etapa de operación, pues se prevé que el sistema pueda llegar a los 8 años de uso con un desempeño no menor al 70%.

2.6.1.1 Análisis comparativo en calidad de la luz entre las luminarias HPS y LED.

Para poder tener resultados notorios es necesario que se puedan modelar datos en base a un consumo de energía anual e interpretar un ahorro económico que vaya de la mano con los datos obtenidos, para ello se realiza una comparación en base a la eficiencia de cada lámpara lm/w, es decir que se comparan dos luminarias que cumplan con los parámetros fotométricos mínimos y se evalúa cuánto difieren en la potencia eléctrica consumida. Este paso es llevado a cabo con la ayuda de DIALux Evo.

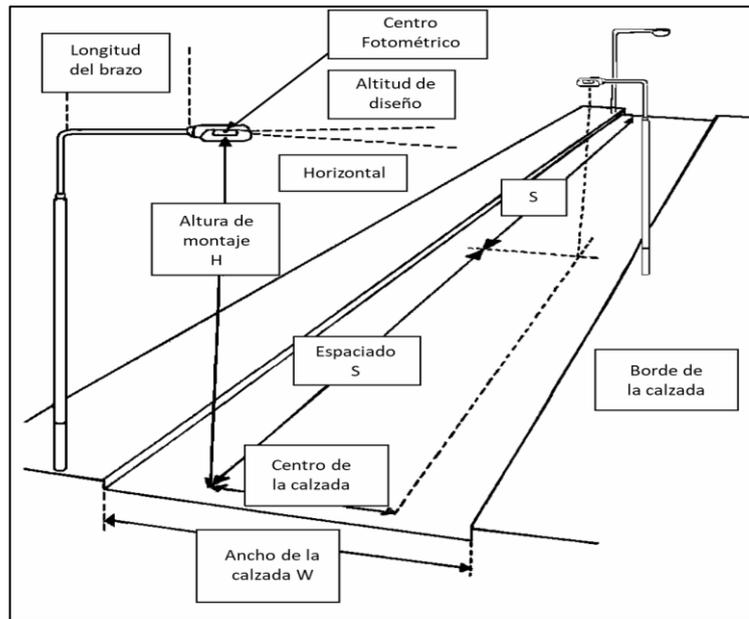


Figura 10-Parámetros arquitectónicos del sistema de iluminación vial. Fuente: [1]

También se establece un proceso que describe el método que se va a llevar a cabo para la comparación, el cual consiste en simular un pequeño sistema de alumbrado vial basado en luminarias HPS y LED, es importante mencionar que el entorno se delimita a una simulación en 150 metros lineales, la configuración de la vía no permite introducir otro tipo de objetos en la superficie que no sean los postes y sobre ellos las luminarias [11].

Una vez que se determina la luminaria con los mejores aspectos técnicos, se evalúa la factibilidad económica del proyecto, para ello es necesario obtener valores numéricos respecto al retorno de la inversión, esto se puede calcular mediante un método que emplea tres indicadores principales, como lo son:

- ✓ Costo capital
- ✓ Costo de operación
- ✓ Costo de mantenimiento

El **costo capital** hace referencia al costo inicial de las luminarias, tomando en cuenta únicamente este elemento en particular (ya que para el desarrollo de presupuestos es necesario hacer análisis de precios unitarios) [11].

El **costo de operación** nos indica el monto económico que la empresa eléctrica asume (en el caso de Ecuador) sobre el consumo de potencia activa del sistema de iluminación. Para este cálculo se procede a hacer una estimación anual [11].

El *costo de mantenimiento* está basado en la cantidad de componentes internos que posee cada luminaria, entre otros también está el valor de herramientas, maquinaria y mano de obra calificada, todo esto necesario para llevar a cabo los mantenimientos.

El ROI se calcula de la siguiente manera [11]:

$$ROI = \frac{C.I}{AACOP + AACM} \quad (7)$$

Donde:

ROI= Retorno de inversión

CI= Costo inicial

AACOP=Ahorro anual en costos de operación

AACM=Ahorro anual en costos de mantenimiento

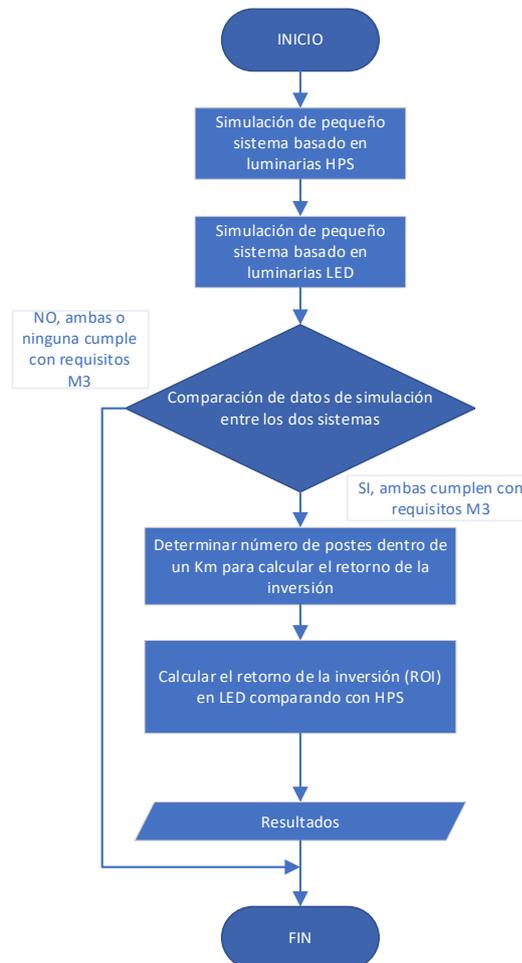


Figura 11- Procedimiento de selección de luminarias en base a un análisis técnico-económico. Fuente: [autor]

El ROI se determina una vez se hayan seleccionado las luminarias que cumplan con los parámetros fotométricos tanto en iluminación LED como en convencional HPS.

Los valores luminotécnicos según el MEER e INEN para los equipos de iluminación led y convencionales varían mínimamente en vías tipo M3, por lo cual se toman los valores nominales de la CIE 150 [4], [9]:

Tabla 13-Valores luminotécnicos para vías tipo M3 según CIE 115 2010

	DETALLE	NOMENCLATURA	UNIDAD	LED	CONVENCIONALES
VÍA TIPO M3	Luminancia media	Lm	Cd/m ²	≥ 1	≥ 1 Cd/m ² .
	Uniformidad general	U _o	%	≥ 40%	≥ 40%
	Uniformidad longitudinal	U _l	%	≥ 60%	≥ 60%
	Incremento umbral (Deslumbramiento)	T _i	-	≤ 15	≤ 15
	Relación de alrededor (Relación E _{vi} /E _{ci})	S _r ó EIR	Índice (0-1)	≥ 0.5	≥ 0.5

Para poder realizar la simulación ingresamos datos acerca de las características arquitectónicas de la vía y otros parámetros de igual importancia que son requeridos para los diseños de alumbrado vial. En el caso de la simulación para efectos comparativos, usaremos los siguientes datos:

Tabla 14-Datos para simulación comparativa

DATOS PARA SIMULACIÓN		
INFORMACIÓN	VALOR	DESCRIPCIÓN
Clase de carretera	M3	Vías principales y ejes viales con velocidades entre $30 < V < 60$ [Km/h] con una concurrencia vehicular entre $250 < V < 500$ [Veh/h]
Clasificación de la superficie de la carretera	R4	Asfalto mastico después de varios meses de uso. Superficie con textura bastante suave y pulimentada
Ancho de la vía	8mts	Tamaño en sentido horizontal de la vía
Ancho del parterre	2mts	Tamaño en sentido horizontal del parterre
Arreglo de la luminaria	Doble central	Disposición de las luminarias
Espacio entre luminarias	20mts	Distancia de poste a poste
Altura del poste	10mts	Distancia entre la superficie y el punto de instalación del brazo de la luminaria
Factor de mantenimiento	0.85	Factor que describe cuantitativamente la depreciación del equipo en base a agentes externos e internos
Longitud del brazo	1.5	Distancia entre el poste y el punto de instalación de la luminaria
Ángulo de inclinación	5°	Ángulo que se forma entre la guía del brazo y la inclinación de la luminaria

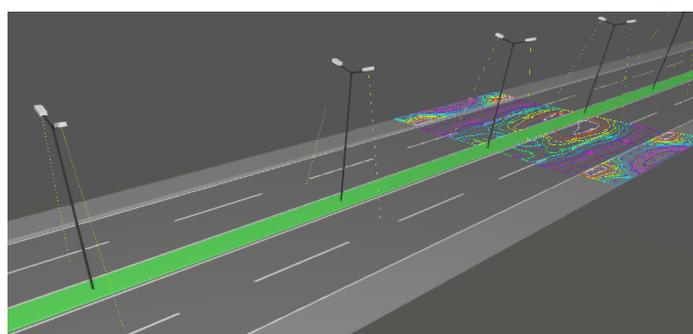


Figura 12-Topología de vía. Fuente: [autor]

La configuración de la vía con parterre central nos permite poder usar la disposición central doble que consiste en dos carriles uno en cada dirección, el parterre no puede ser menor a 1.5m ni mayor a 4m de ancho. Esta configuración permite poder optimizar recursos en la construcción de sistemas de alumbrado en autopistas, desde el punto de vista constructivo se pueden montar dos luminarias por cada estructura. Sin embargo, esta disposición exige equipos de mayor cantidad de lúmenes, con un ángulo de

dispersión de la luz más amplio en el plano horizontal, mayor altura de montaje y menor distancia entre vanos, todo esto con el objetivo de evitar el efecto cebra en la calzada, para las aceras la INEN-RTE 061 sólo pide como parámetro que la luminancia promedio supere los 7.5 cd/m².

2.6.1.1.1 Densidad de la grilla de cálculo en iluminación de carreteras.

El cálculo y medición de parámetros de rendimiento de un sistema de alumbrado público en carreteras se lo realiza acorde a la norma CIE-140 y la norma europea EN 13201-3 [21]. El método de cálculo por grillas consiste principalmente en definir un área en una posición específica tanto en la dirección transversal como longitudinal, esto en la práctica resulta más complejo puesto que este método se delimita a una vía de características homogéneas y totalmente recta, el área de cálculo definida de preferencia debe estar entre dos luminarias instaladas en la misma fila y apuntando hacia la misma dirección, los principales parámetros evaluados en el método por grillas son luminancia promedio (L_{av}), factor de uniformidad general (U_0), factor de uniformidad longitudinal (U_l) e incremento umbral (TI) [21], [24].

Se define la posición del observador a una altura de 1.5m (altura promedio de los ojos de una persona en condición de conductor) y a una distancia de entre 57m a 172m de la primera luminaria del sistema de AP, con un ángulo de 1°-1.5° entre los ojos del observador y la superficie o grilla observada. Del lado izquierdo de cada carril, ¼ de carril hacia la derecha es la ubicación donde generalmente se posiciona el conductor en sentido transversal, tomando en cuenta que en Ecuador el lado del conductor es en el lado izquierdo del vehículo [21].

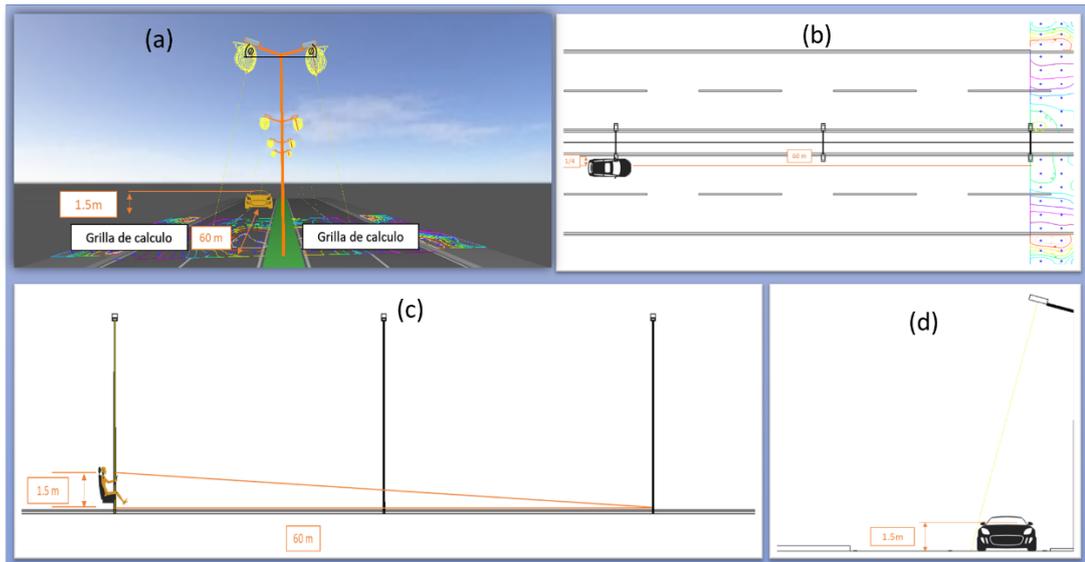


Figura 13-Localización del campo de cálculo. Vista 3D (a), vista base (b), vista frontal (c), vista lateral derecha (d). Fuente: [autor]

Los puntos de cálculo donde se evaluarán los parámetros deben estar separados uniformemente. Para el cálculo del espaciamiento definimos las fórmulas bajo la normativa CIE 140 y EN 13 201 donde la primera define la distancia en la dirección longitudinal y la segunda en la dirección transversal [21], [24].

$$D = \frac{S}{N} \quad (8)$$

Donde:

D= Es la distancia entre puntos en la dirección longitudinal

S= Es la distancia entre luminarias

N= Es el número de puntos de cálculo en la dirección longitudinal con los siguientes valores: Para $S \leq 30\text{m}$, $N=10$; Para $S > 30\text{m}$, el número entero más pequeño que de $D \leq 3\text{ m}$

$D/2$ = La primera fila transversal está espaciada a una distancia $D/2$ de la primera luminaria.

$$d = \frac{W}{S} \quad (9)$$

Donde:

d = Es la distancia entre puntos en la dirección transversal

W = Es el ancho de la calzada

$d/2$ = La primera columna transversal está espaciada a una distancia $d/2$ en los extremos transversales de la calzada

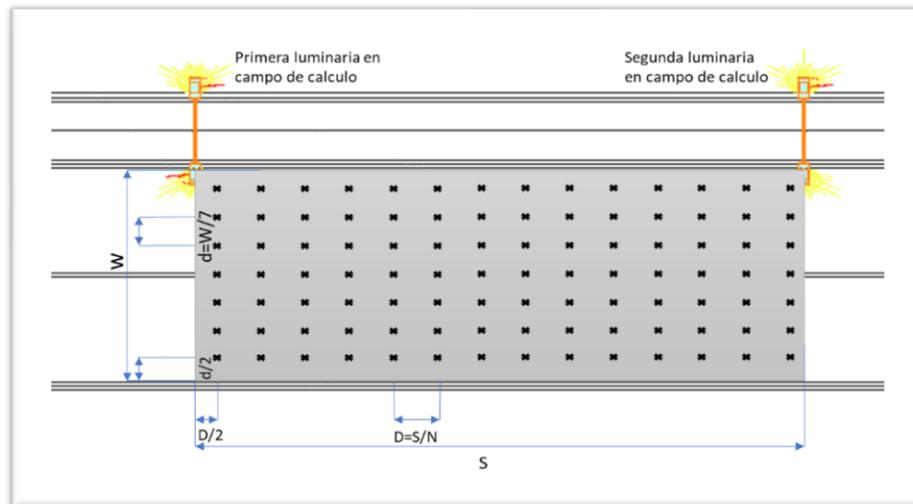


Figura 14-Localización de puntos de cálculo. Fuente: [autor]

El método de cálculo por grillas fue creado para mejorar parámetros de luminancia y uniformidad en luminancia en los sistemas de alumbrado público, cabe mencionar que estos cálculos se los realizaba de manera manual o con software poco sofisticado, al día de hoy podemos realizar y parametrizar sistemas de alumbrado público con gran rapidez y con gran capacidad de comparación entre tipos de luminarias, por ello esta sección es netamente explicativa respecto al método de cálculo empleado por DIALux. [21], [24].

2.6.1.1.2 Influencia de la temperatura del color en Alumbrado Público-Evaluación subjetiva en peatones y conductores.

Dado el crecimiento exponencial en el uso de las luminarias led en los sistemas de alumbrado público, las metodologías de cálculo para determinar los equipos adecuados en el montaje del sistema de alumbrado público siguen muchas veces sujetas al uso de métodos caducos, en los cuales se siguen considerando únicamente valores objetivos tales como [22]:

- Luminancia promedio (L_{av})
- Uniformidad general (U_o)
- Uniformidad longitudinal (U_l)
- Relación de alrededor (S_r)

Cabe mencionar que estas variables son las más importantes en la base de cualidades fotométricas, pero los métodos son indiferentes a cualidades subjetivas como el índice de reproducción cromática, deslumbramiento, brillo y temperatura del color de la luz, tomando en cuenta que en la iluminación led tenemos una gama de colores muy ampliada respecto a las tecnologías de alumbrado convencionales [22].

La implementación de los primeros sistemas de Alumbrado Público Led tomaba en cuenta únicamente la eficiencia de la luminaria, siendo las de contenido de azules muy elevados las más eficientes del mercado, al poco tiempo y bajo metodologías que se basaban principalmente en encuestas los usuarios encuestados expresaron que los colores con temperaturas superiores a 5000°K producen [22]:

- Deslumbramiento
- Brillo muy elevado
- Mareos
- Problema del sueño
- Contaminación lumínica

Además de:

- Desorientación en aves e insectos

En el momento que se realizó la investigación las luminarias con colores superiores a los 5000°K proporcionaban mayor eficiencia que las de colores inferiores a los 4000°K sin embargo, esta eficiencia es de apenas el 6% con una proyección de equiparar esta diferencia para el año 2025. Si tomamos en cuenta que el ahorro frente a tecnologías convencionales ya está ampliamente superado, este 6% de ahorro energético no justifica sacrificar la comodidad visual del usuario de la vía [22].

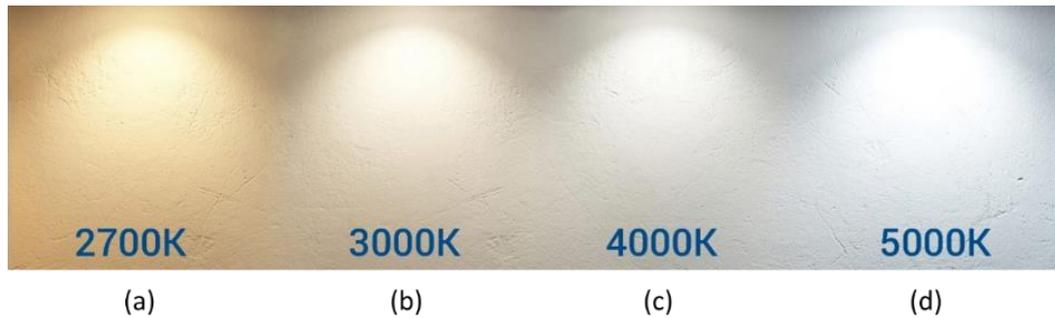


Figura 15- W-warm (a), WW-warm white (b), NW-neutral white (c), CW-cool white (d). Fuente: [autor]

El método para evaluar qué color es el ideal desde la perspectiva de los conductores en [22], consiste como principales parámetros la detección de STV (Visibilidad de Objetos Pequeños) y la detección de peatones. La velocidad de conducción es de 50 km/h y los conductores pasan primero por una etapa de luminarias de 3000°K, luego por una zona de amortiguamiento (oscura) para finalmente pasar por la etapa de luminarias de 4000°K, este proceso se repite desde el lado contrario para garantizar la homogeneidad de los resultados. La investigación posee una etapa de evaluación de resultados objetivos, para lo cual se concluye que en ambos tipos de luminarias se cumple con los parámetros fotométricos [22].

En cuanto a la adaptación cromática se comprobó que es más fácil para el sistema visual de una persona pasar de un lugar oscuro a uno con luz blanca cálida que pasar de un lugar oscuro a un lugar con una luz de CCT (correlation color temperature) alto. Otra ventaja es que las luminarias con un CCT bajo producen un bajo nivel de deslumbramiento y una mejor transmisión de la luz en la niebla.

Cada caso presenta ventajas frente al otro siendo las siguientes las mejor calificadas por los encuestados [22]:

- **3000°K**
 - Menor nivel de deslumbramiento
 - Adaptación cromática más efectiva
 - Menor nivel de brillo
 - Mejor detección de detalles u objetos en la vía

- **4000°K**
 - Mejor detección de obstáculos de color claro.
 - Mayor enfoque en carreteras netamente de tránsito vehicular

Cabe recalcar que la ventaja de las luminarias de 3000°K sobre las de 4000°K es muy ligera, por lo tanto, no deja de ser un criterio de selección del diseñador.

2.6.1.1.3 Descripción de Luminaria HPS y LED usadas en DIALux.

La descripción de cada una de las lámparas nos ayudará a verificar datos de potencia eléctrica, flujo luminoso, eficiencia, rendimiento lumínico, temperatura del color, índice de reproducción de color IRC y el plano polar. La ficha de cada una de las luminarias usadas para la simulación HPS (Anexo 5 al Anexo 7) y LED (Anexo 8 al Anexo 10) están disponibles en el capítulo ANEXOS.

El diagrama polar nos indica la distribución de intensidad luminosa en los planos C0/C180 y C90/C270. La curva C0/C180 corresponde a la distribución luminosa en sentido horizontal y la curva C90/C270 representa a la distribución luminosa en sentido vertical.

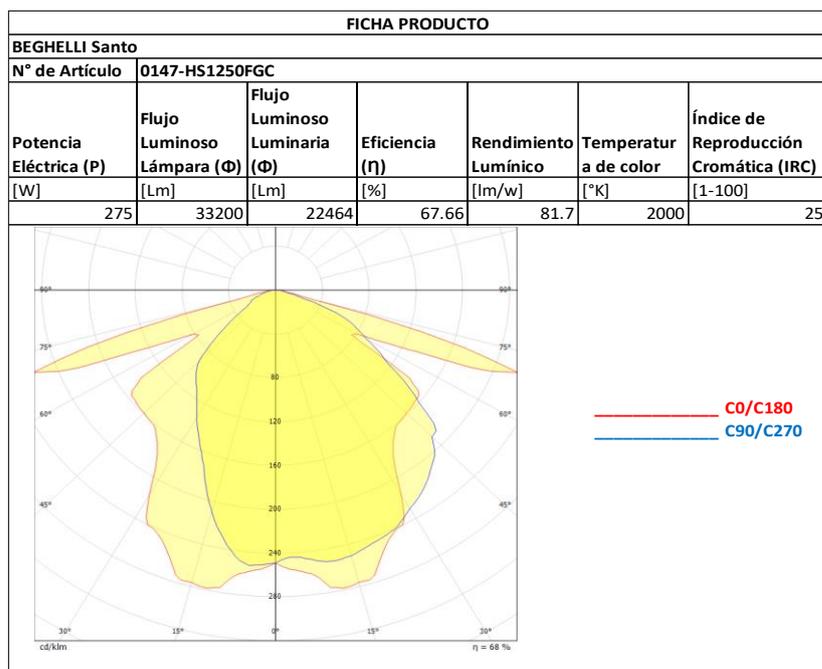


Figura 16-Ficha Técnica Luminaria Beghelli Santo-HPS 250W. Fuente: [autor]

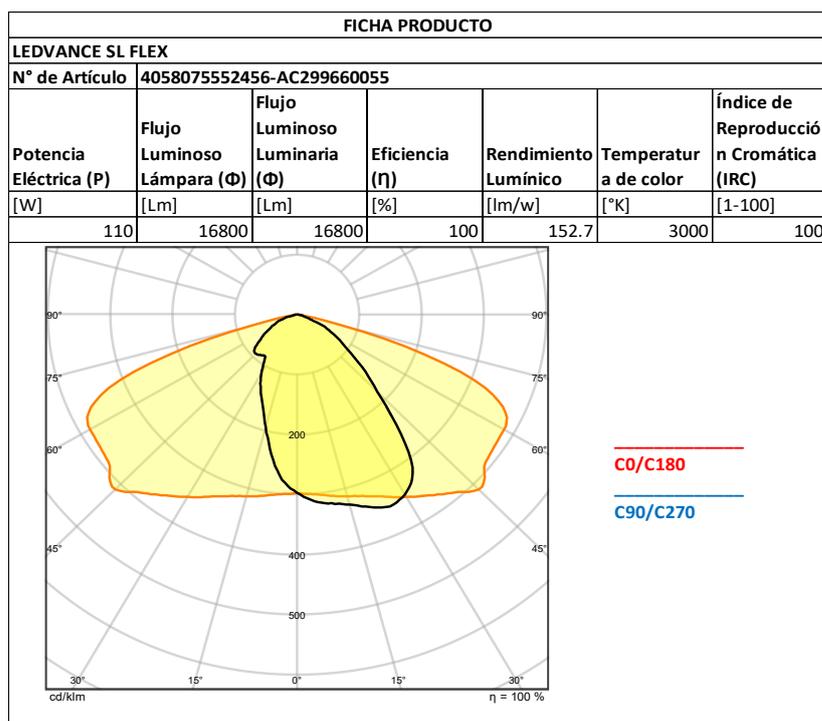


Figura 17-Ficha Técnica Luminaria Ledvance Street Light 110W. Fuente: [autor]

Para una mejor interpretación, en el simulador se pueden verificar los planos tridimensionales como también vistas laterales, frontal, planta, posterior e inferior de los ángulos de distribución de la luminaria. Anexo 6. Anexo 7. Es preciso entender que la distribución de la luz en alumbrado público influye en otros parámetros como uniformidad horizontal, uniformidad longitudinal y luminancia promedio entre los parámetros más relevantes.

2.6.1.1.4 Resultados comparativos de parámetros fotométricos de luminarias HPS vs LED.

Los resultados obtenidos de la simulación son aquellos basados a las características viales descritas en la Tabla 14, donde se simuló un escenario con luminarias HPS (Beghelli-Santo) y LED (Ledvance-Street Light).

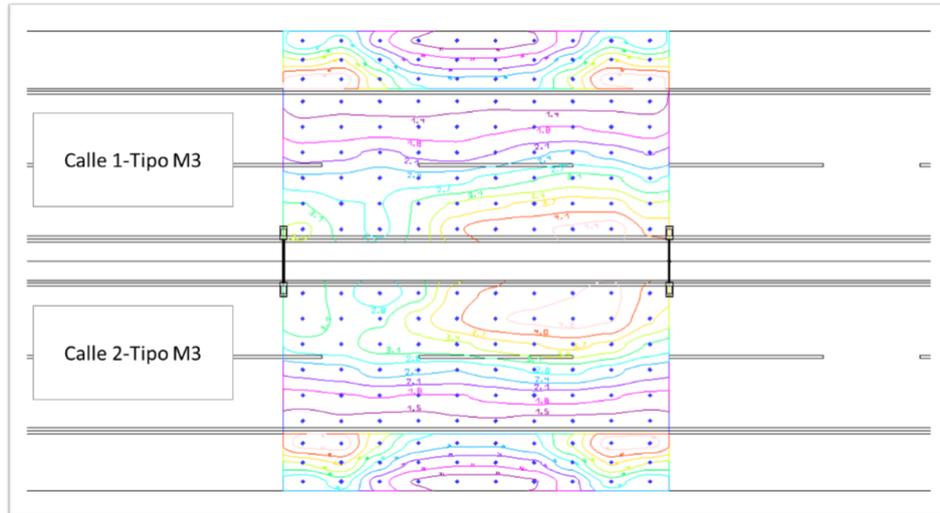


Figura 18-Área de evaluación (Vista de mapa de Isolux de luminancia). Fuente: [autor]

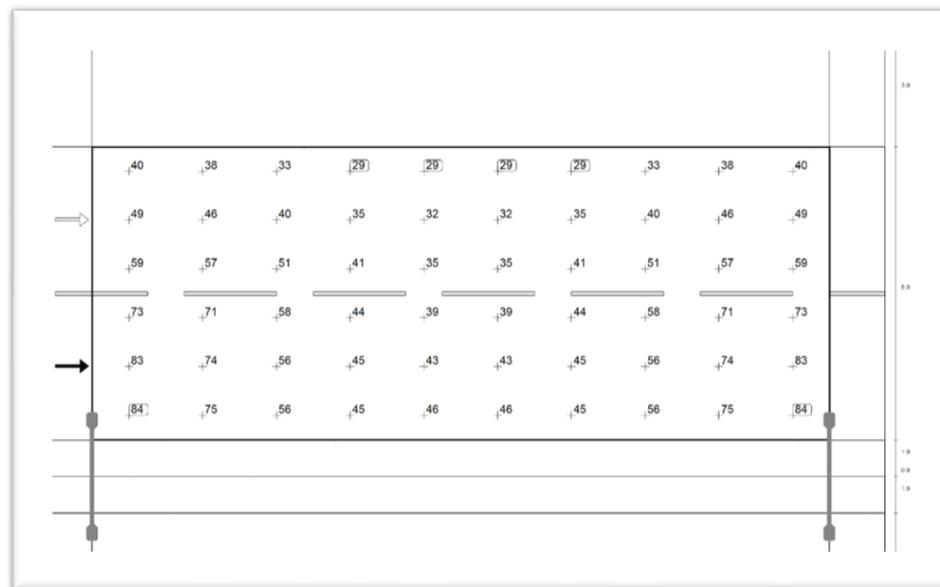


Figura 19-Área de evaluación (Vista de grillas de cálculo en un carril). Fuente: [autor]

Tabla 15-Resultados para área de evaluación en Calle 1

RESULTADOS PARA ÁREA DE EVALUACIÓN CALLE 1 (M3)					
	Lm [cd/m²]	Uo	UI	TI	REI
Valor nominal	≥1	≥0.40	≥0.60	≤15%	≥0.50
HPS-Santo Beghelli	2.52	0.50	0.70	8%	1.04
LED-Ledvance SL	2.40	0.53	0.93	6%	0.99

Tabla 16-Resultados para área de evaluación en Calle 2

RESULTADOS PARA ÁREA DE EVALUACIÓN CALLE 2 (M3)					
	Lm [cd/m²]	Uo	UI	TI	REI
Valor nominal	≥1	≥0.40	≥0.60	≤15%	≥0.50
HPS-Santo Beghelli	2.52	0.50	0.70	8%	1.04
LED-Ledvance SL	2.40	0.53	0.93	6%	0.99

Los resultados mostrados en la Tabla 15 y Tabla 16 reflejan únicamente datos referentes al campo o área de evaluación desde la perspectiva netamente de cálculo, en estos primeros resultados no se reflejan valores referentes a la perspectiva del observador desde posiciones más enfocadas a la realidad.

Tabla 17-Resultados para observador 1- Calle 1

RESULTADOS PARA EL OBSERVADOR 1 CALLE 1 (M3)				
	POS: (-60m, 15,001m, 1.5m)			
	Lm [cd/m²]	Uo	UI	TI
Valor nominal	≥1	≥0.40	≥0.60	≤15%
HPS-Santo Beghelli	2.52	0.50	0.70	8%
LED-Ledvance SL	2.40	0.54	0.94	6%

Tabla 18-Resultados para observador 2- Calle 1

RESULTADOS PARA EL OBSERVADOR 2 CALLE 1 (M3)				
	POS: (-60m, 19,001m, 1.5m)			
	Lm [cd/m²]	Uo	UI	TI
Valor nominal	≥1	≥0.40	≥0.60	≤15%
HPS-Santo Beghelli	2.75	0.50	0.87	5%
LED-Ledvance SL	2.66	0.53	0.93	4%

Tabla 19-Resultados para observador 1- Calle 2

RESULTADOS PARA EL OBSERVADOR				
1 CALLE 2 (M3)		POS: (-60m, 5,00m, 1.5m)		
	Lm [cd/m2]	Uo	UI	TI
Valor nominal	≥ 1	≥ 0.40	≥ 0.60	$\leq 15\%$
HPS-Santo Beghelli	2.75	0.50	0.87	5%
LED-Ledvance SL	2.66	0.53	0.93	4%

Tabla 20-Resultados para observador 2- Calle 2

RESULTADOS PARA EL OBSERVADOR				
2 CALLE 2 (M3)		POS: (-60m, 9,00m, 1.5m)		
	Lm [cd/m2]	Uo	UI	TI
Valor nominal	≥ 1	≥ 0.40	≥ 0.60	$\leq 15\%$
HPS-Santo Beghelli	2.52	0.50	0.70	8%
LED-Ledvance SL	2.40	0.54	0.94	6%

Cómo se detalla en “2.6.1.1.1 Densidad de la grilla de cálculo en iluminación de carreteras.” el método de grillas nos permite tener una idea más clara de lo que se pretende entender cuando cuantificamos los valores de luminancia media, uniformidad general de luminancia, uniformidad longitudinal de luminancia e incremento umbral (deslumbramiento).

Los resultados arrojan que la luminaria HPS-Santo Beghelli en todos los casos supera en Lm (Luminancia media) a la luminaria LED-Ledvance SL, esto en gran parte debido a que es una luminaria con un flujo luminoso un 197.62% más alto que la LED, sin embargo, con una eficiencia muy baja. Este resultado se puede refutar a favor de la luminaria LED si observamos que la Lm mínima por normativa es de 1.20 [cd/m2] y en ambos casos superan con el doble o más este valor, por otra parte, el incremento umbral en todos los casos es menor en la luminaria LED tomando en cuenta que este no debe superar el 10% y siendo un valor importante para tener en cuenta en el aspecto subjetivo de confort del conductor o peatón.

La variable de uniformidad general y uniformidad longitudinal es mayor en el caso de la iluminación led, esto se debe en gran medida a la curva de distribución de la luz de fábrica, esta es una característica conocida en la iluminación led, debido a la facilidad de disposición de los leds en su tarjeta electrónica.

2.6.1.2 Ahorro energético en base a análisis anual y determinación del ROI.

Cómo se indicó **más atrás** la factibilidad del proyecto debe evaluar determinados parámetros de eficiencia, que demuestren que efectivamente la iluminación led va a contribuir en aspectos de consumo energético, calidad de la luz y económicos.

El ROI es un indicador que nos va a permitir estimar el aspecto económico del proyecto y en la determinación de este se estimará el consumo energético de un sistema de AP basado en tecnología LED vs uno basado en tecnología HPS, para ello recurrimos a la ecuación (7).

2.6.1.2.1 Costo inicial.

También se lo puedo denominar costo capital. Para este caso en particular el costo inicial considerado se delimita únicamente al costo de las luminarias, debido a que este es el único aspecto contemplado en el diseño en DIALux. Para determinar detalles constructivos se lo realizará más adelante.

Para poder obtener condiciones óptimas en la determinación del diseño se debe elegir luminarias con precios bajos sin dejar de tomar en cuenta la eficiencia.

Número de postes en 1km con instalación en doble disposición:

$$\frac{1000m}{20m \text{ (distancia poste - poste)}} = 50 \text{ postes}$$

Número de luminarias:

$$50 \text{ postes} \times 2 \text{ (doble disposición)} = 100 \text{ luminarias}$$

Para determinar el costo de instalación de una luminaria es necesario realizar un APU donde se toma en cuenta el costo de herramientas, mano de obra, material, transporte y la utilidad del constructor. (fecha de cotización 12 de noviembre del 2021).

Tabla 21-APU del costo de suministro y montaje de una luminaria

Detalle:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE LUMINARIA LED LEDVANCE STREET LIGHTING				Unidad:	u
ESPECIFICACION TÉCNICA:						
Equipo, Maquinaria y Herramienta :	Cantidad	Tarifa USD/h	Costo Horario USD	Rendimiento m/hora	SUBTOTAL USD	
Escalera telescópica de 12mts	1,00	\$2,25	\$2,25	2,00	\$1,13	
Equipos de protección personal	1,00	\$1,00	\$1,00	2,00	\$0,50	
Taladro 1/2" de dados	1,00	\$0,60	\$0,60	2,00	\$0,30	
			-			
Herramientas menores (5% MAN.OB)	1,00		-		\$0,33	
SUBTOTAL : Equipo, Maquinaria y Herramienta :				M =	\$2,25	
Mano de Obra	Cantidad	Jornal USD/h	Costo Horario USD	Rendimiento m/hora	SUBTOTAL USD	
Peón (Est. Oc E2)	1,00	\$3,62	\$3,62	2,00	\$1,81	
Ayudante electricista (Est. Oc E2)	1,00	\$4,50	\$4,50	2,00	\$2,25	
Técnico liniero eléctrico (Est. Oc D2)	1,00	\$5,00	\$5,00	2,00	\$2,50	
SubTotal : Mano de Obra				N =	\$6,56	
Costo Unitario de Equipo y Mano de Obra :				(M + N) =		
Materiales:	Unidad	Cantidad	Precio Unitario USD	SUBTOTAL USD		
LUMINARIA LED 110W 16000LM 90-305V IP66 4000K 100000H	u	1,000	\$283,45	\$283,45		
SubTotal : Materiales:				O =	\$283,45	
Transporte:	Unidad	Cantidad	Tarifa USD	SUBTOTAL USD		
-	-	-	-	-		
SubTotal : Transporte:				P =	-	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) =					\$292,26	
COSTO INDIRECTO y UTILIDADES (%) =				10,00	\$29,23	
OTROS INDIRECTOS =				-	\$0,00	
COSTO TOTAL DEL RUBRO - (Dólares) =					\$321,49	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA. VALOR OFERTADO - (Dólares) =					\$321,49	

Por lo tanto, asumimos que los \$321,49 sería el equivalente al costo de una sola luminaria en condiciones de inicio de operación, para las 100 luminarias necesarias el **costo total inicial** sería de: **\$32.149,00**.

2.6.1.2.2 Ahorro anual en costos de operación

El cálculo del ahorro anual de energía se lo determina en función de la potencia activa consumida por el equipo. Tomemos en cuenta que en el caso de la luminaria HPS posee un capacitor para corregir el fp y en el caso de la luminaria LED el controlador se encarga de regular los niveles de voltaje y corriente absorbidos por la carga, por lo tanto, este cálculo va enfocado a un sistema ideal.

$$\text{Potencia ahorrada por luminaria} = 250W - 110W$$

Potencia ahorrada por luminaria = 140W

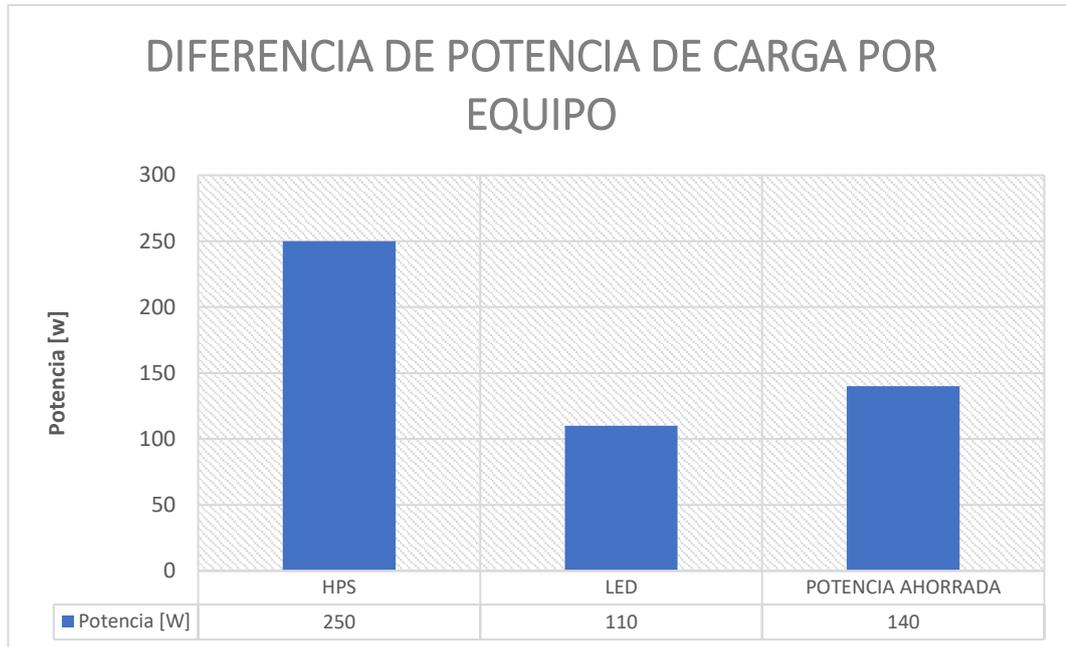


Figura 20- Diferencia de potencia de carga por equipo de iluminación. Fuente: [autor]

Tomando en cuenta que las luminarias permanecen encendidas en promedio 12 horas diarias desde el momento en que inicia la noche 18h30 hasta las 06h30 que amanece, los 365 días del año.

$$\text{Energía ahorrada por luminaria anualmente} = (365 \frac{\text{días}}{\text{año}})(12 \frac{\text{horas}}{\text{día}})(140W)$$

$$\text{Energía ahorrada por luminaria anualmente} = 613.20 \left[\frac{kWh}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Energía ahorrada por sistema en 1km} = (613.20 \text{ kWh/año})(100)$$

$$\text{Energía ahorrada por sistema en 1km} = 61320 \left[\frac{kWh}{\text{año}} \right]$$

El kWh en Ecuador está en promedio \$0,1047 lo que representa en cifras monetarias un ahorro en operación de:

$$\text{Ahorro anual en costos de operación} = (61320 \frac{kWh}{\text{año}})(0,1047 \frac{\$}{kWh})$$

$$\text{Ahorro anual en costos de operación} = \mathbf{\$6.420,20}$$

El ahorro anual en costos de operación es considerablemente alto, sin tomar en cuenta que en los sistemas con alumbrado convencional hay un retardo por el arranque de encendido y pérdidas de calor en los elementos operativos de cada luminaria.

2.6.1.2.3 Ahorro anual en costos de mantenimiento

Para calcular el ahorro anual en costos de mantenimiento se toma en cuenta que en los equipos de AP led los fabricantes dan una garantía no menor a las 50000 horas de operación continua, tiempo que tomando en cuenta que el sistema opera 12 horas diario los 365 días del año, dando aproximadamente 11 años con 4 meses 27 días y 14 horas. Esto a pesar de que las luminarias led seleccionadas en la simulación dan una garantía de funcionalidad de 100000 horas.

Pasa todo lo contrario en las luminarias HPS, puesto que, según las empresas distribuidoras, en promedio el mantenimiento que consta de cambio de arrancador, balastro, capacitor y focos es periódico cada dos años.

Para poder hacer esta estimación se debe realizar un análisis de precios unitarios que considere el costo de los elementos asociados a la luminaria HPS, costo de mano de obra, costo de herramientas, costo de transporte de materiales y utilidad del contratista encargado del mantenimiento.

Tabla 22- APU de mantenimiento de luminaria HPS

Detalle:	MANTENIMIENTO DE LUMINARIA HPS 250W 220V				Unidad:	u
ESPECIFICACION TÉCNICA:						
Equipo, Maquinaria y Herramienta :	Cantidad	Tarifa USD/h	Costo Horario USD	Rendimiento m/hora	SUBTOTAL USD	
Escalera telescópica de 12mts	1,00	\$2,25	\$2,25	2,00	\$1,13	
Equipos de protección personal	1,00	\$1,00	\$1,00	2,00	\$0,50	
Taladro 1/2" de dados	1,00	\$0,60	\$0,60	2,00	\$0,30	
			-			
Herramientas menores (5% MAN.OB)	1,00		-		\$0,33	
SUBTOTAL : Equipo, Maquinaria y Herramienta :				M =	\$2,25	
Mano de Obra	Cantidad	Jornal USD/h	Costo Horario USD	Rendimiento m/hora	SUBTOTAL USD	
Peón (Est. Oc E2)	1,00	\$3,62	\$3,62	2,00	\$1,81	
Ayudante electricista (Est. Oc E2)	1,00	\$4,50	\$4,50	2,00	\$2,25	
Técnico liniero eléctrico (Est. Oc D2)	1,00	\$5,00	\$5,00	2,00	\$2,50	
SubTotal : Mano de Obra				N =	\$6,56	
Costo Unitario de Equipo y Mano de Obra :				(M + N) =		
Materiales:	Unidad	Cantidad	Precio Unitario USD	SUBTOTAL USD		
BALASTO 400W 220V-240V	u	1,00	\$32,00	\$32,00		
FOCO DE SODIO 250W	u	1,00	\$20,00	\$20,00		
IGNITOR UNIVERSAL 70-400W	u	1,00	\$8,00	\$8,00		
CAPACITOR 30uF 330VAC	u	1,00	\$6,00	\$6,00		
				-		
SubTotal : Materiales:				O =	\$66,00	
Transporte:	Unidad	Cantidad	Tarifa USD	SUBTOTAL USD		
-	-	-	-	-		
SubTotal : Transporte:				P =	-	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) =					\$74,81	
COSTO INDIRECTO y UTILIDADES (%) =				10,00	\$7,48	
OTROS INDIRECTOS =				-	\$0,00	
COSTO TOTAL DEL RUBRO - (Dólares) =					\$82,29	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					VALOR OFERTADO - (Dólares) =	
					\$82,29	

En este apartado ignoramos el costo de la fotocélula puesto que se pretende controlar cada circuito con un solo relé, llegando a ser un costo despreciable en el mantenimiento. El costo de las herramientas menores (alicates, llaves, destornilladores, etc) es el 5% de la mano de obra. La utilidad considerada para el constructor es del 10% sobre el costo de herramientas, personal, material y transporte (fecha de cotización 12 de noviembre del 2021).

En 100 luminarias el costo de mantenimiento es de: **8.229,00\$** pero tomamos en cuenta que la consideración de este mantenimiento es cada 2 años, por lo tanto, a este resultado se lo divide para dos considerandos el costo asumido al año de operación, dando así: **4.114,50\$**

2.6.1.2.4 Return of investment (ROI)

Para el cálculo del ROI se tuvieron que obtener las tres variables descritas en la ecuación (7), el estudio de mercado se basa en precios obtenidos respecto a un análisis en costos unitarios en las variables CI y AACM, mientras que en AACOP se hizo un análisis en base al ahorro anual consecuencia del cambio de luminarias HPS a LED.

$$ROI = \frac{C.I}{AACOP + AACM} \quad (10)$$

$$ROI = \frac{32.149,00 [\text{\$}]}{6.420,20 \left[\frac{\text{\$}}{\text{año}} \right] + 4.114,50 \left[\frac{\text{\$}}{\text{año}} \right]}$$

$$ROI = 3.0517 [\text{año}]$$

$$ROI = 3 \text{ años } 18 \text{ días y } 14 \text{ horas}$$

2.6.1.3 Vida útil y depreciación luminosa de un equipo de iluminación

Previo a la ejecución de un proyecto de iluminación vial el mantenimiento juega un rol importante tanto en el funcionamiento como en la eficiencia de este, cuando hay evidencia concreta de que una instalación cumple con todos los requisitos normativos nacionales e internacionales se puede prever que la depreciación luminosa de este irá muy a la par con la garantía de fábrica.

El mantenimiento puede ser expresado cuantitativamente mediante el cociente de mantenimiento o factor de mantenimiento. Este valor puede ser obtenido ya sea en operación o se puede determinar para propósitos de diseño de un sistema de iluminación.

En operación este valor puede ser expresado como la relación que existe entre la iluminancia media que se pretende obtener al cabo de un determinado tiempo (iluminancia mantenida) y la iluminancia media al inicio de la operación del sistema (iluminancia inicial) [16], [38].

$$FM = \frac{E_{mantenida}}{E_{inicial}} \quad (11)$$

El factor de mantenimiento es determinante en la eficiencia del sistema, los principales factores que influyen en un bajo factor de mantenimiento son:

- Mal funcionamiento de los componentes y equipos auxiliares
- Acumulación de humedad y suciedad
- Envejecimiento del equipo (no-controlable)
- Efectos del calor propio y altas temperaturas exteriores
- Sobrevoltaje y bajo voltaje
- Fallos de la instalación

Todos los factores mencionados son muy comunes en cualquier instalación en general, sin embargo, en la iluminación es muy notorio debido al fin propio de iluminar. De acuerdo con la IESNA y la CIE la acumulación de suciedad y el envejecimiento propio del equipo y sus partes son los factores que más influyen en la depreciación luminosa de una luminaria.

$$FM = FDFL \cdot FSL \cdot FDLU \quad (12)$$

Donde:

FM: Factor de mantenimiento

FDFL: Factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara

FSL: Factor de supervivencia de la luminaria

FDLU: Factor de depreciación de la luminaria

El FDFL en el caso de la luminaria LED se puede entender como el valor porcentual de depreciación del flujo luminoso inicial hasta el periodo de reemplazo del LED durante la vida estimada de la luminaria, en el caso de las luminarias convencionales se entendería como la vida útil de la lámpara, en el caso de la luminaria led se referiría a todo el conjunto óptico de la luminaria [14], [15], [39].

Tabla 23-FDFL según el tipo de lámpara. Fuente: [1]

Tipo de lámpara	Nomenclatura	Periodo de funcionamiento en horas						
		4000h	6000h	8000h	10000 h	12000 h	25000 h	50000 h
Sodio de alta presión	HPS	0.98	0.97	0.94	0.91	0.9	-	-
Sodio de baja presión	LPS	0.98	0.96	0.93	0.9	0.87	-	-
Halogenuros metálicos	HM	0.82	0.78	0.76	0.76	0.73	-	-
Vapor de mercurio	MH	0.87	0.83	0.8	0.78	0.76	-	-
Fluorescente tubular Trifósforo	FLT	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	-	-
Fluorescente tubular Halofosfato	FLH	0.82	0.78	0.74	0.72	0.71	-	-
Fluorescente compacta	FC	0.91	0.88	0.86	0.85	0.84	-	-
LED	LED	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.96	0.94

El FSL toma en cuenta el fallo del driver (led) o balastro (HPS) o en su defecto de cualquier parte mecánica de la luminaria que sea reemplazable, de modo tal que esto no represente necesariamente una disminución en el flujo luminoso de la luminaria. Por ello se considera al FSL igual a 1 [1].

FDLU toma en cuenta el grado de protección de la luminaria contra polvo y humedad IP y el nivel de contaminación del lugar de instalación, idealmente debería ser 1 cuando el equipo de iluminación es nuevo y su valor iría en disminución durante el tiempo estimado de operación [1].

Tabla 24-FDLU según el grado IP y grado de contaminación. Fuente: [1]

Grado de protección del sistema óptico	Grado de contaminación	Intervalo de limpieza en años				
		1 año	1.5 años	2 años	2.5 años	3 años
IP2X	Alto	0.53	0.48	0.45	0.43	0.42
	Medio	0.62	0.58	0.56	0.54	0.53
	Bajo	0.82	0.80	0.79	0.78	0.78
IP5X	Alto	0.89	0.87	0.84	0.80	0.76
	Medio	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82
	Bajo	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88
IP 6X	Alto	0.91	0.90	0.88	0.85	0.83
	Medio	0.92	0.91	0.89	0.88	0.87
	Bajo	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90

Por otra parte, una forma de evaluar el grado de contaminación de un ambiente a un nivel más profundo es verificando la cantidad de partículas en suspensión en un metro cúbico.

Tabla 25-Categorización de los ambientes. Fuente: [13]

Categorización de los ambientes			
Categoría de ambiente	Entorno	Tráfico	Partículas en suspensión
Muy limpio	Ausencia de actividades cercanas que generen humos o polvo y baja contaminación ambiental	Escoso generalmente limitado a zonas residenciales o áreas rurales	0 a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Limpio	Ausencia de actividades cercanas que generen humos o polvo y baja contaminación ambiental	Moderado intenso	a 150 a 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Moderado	Presencia de algunas actividades que generan humos o polvo		300 a 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sucio	Presencia de humos o polvo generado por actividades cercanas que puedan ocasionalmente envolver la luminaria		600 a 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Muy sucio	Presencia de humos o polvo generado por actividades cercanas que frecuentemente envuelven la luminaria		1200 a 2400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Según [38] esta clasificación juega un rol fundamental a la hora de predecir la depreciación luminosa en los equipo de iluminación a lo largo del tiempo.

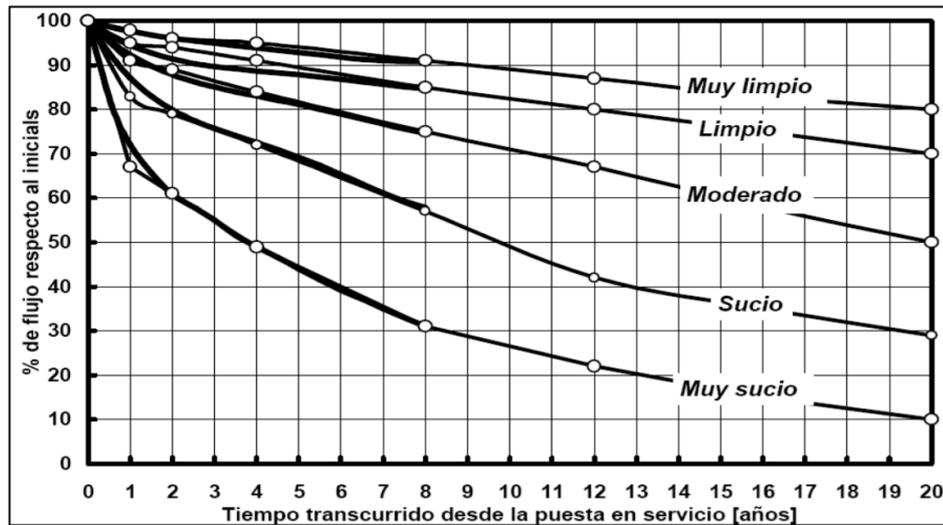


Figura 21 Depreciación luminosa de una luminaria de alumbrado público con cierre hermético expuesta a 5 tipos de ambientes. Fuente: [38]

Una vez revisado estos indicadores, es necesario tomar en cuenta en la selección de los equipos los siguientes parámetros:

- Tipo de lámpara basado en garantías y certificaciones internacionales
- Estanqueidad del sistema óptico (IP)
- Naturaleza y modalidad de cierre de la luminaria
- Protecciones eléctricas (reguladores, SPD's)
- Método de disipación del calor

Entre los principales.

El modelado matemático que involucra la relación entre la eficiencia energética del equipo de iluminación y la iluminancia que llega a la superficie iluminada es expresada mediante:

$$\varepsilon = \frac{E_m \cdot S}{P} = \frac{\text{lux} \cdot \text{m}^2}{W} \quad (13)$$

Donde:

ε : Eficiencia energética

E_m : Iluminancia mantenida

S : Superficie

P : Potencia eléctrica

De estas variables se sostiene que la superficie como la potencia eléctrica son datos invariables, sin embargo, la iluminancia mantenida es un parámetro sujeto a variación prolongada en el tiempo dependiente del factor de mantenimiento. Ecuación (11).

Cuando la eficiencia de la luminaria ha caído por debajo del 70% de su valor nominal de luminosidad y tomando en cuenta que se han ejecutado los mantenimientos programados de forma adecuada, es necesario realizar el cambio completo del equipo o parte del sistema de iluminación. Esto se justifica debido a que:

- El nivel de iluminancia de la lampara está por debajo del normado
- Resulta costoso mantener el sistema
- El uso de equipos obsoletos puede acarrear daños a otras partes de la instalación
- En las luminarias HPS se produce un excesivo consumo de energía del sistema
- En las luminarias LED puede llegar a producirse un efecto estroboscópico en otros casos un efecto Flicker
- En las luminarias LED se produce una reducción de la uniformidad en luminancia debido al daño parcial de chips en el conjunto óptico

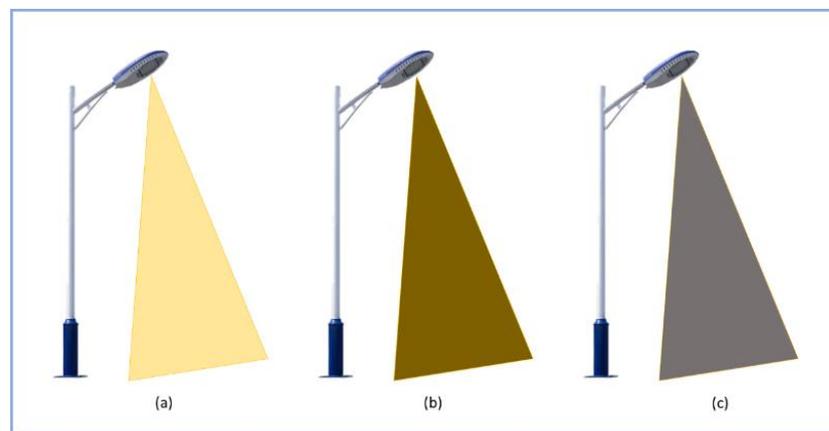


Figura 22-(a) Luminaria con una eficiencia idealmente del 95% nueva (b) Luminaria con una eficiencia inferior al 70% (c) Luminaria obsoleta. Fuente: [autor]

2.6.2 Calidad de la energía en las luminarias LED

Esta sección está basada en estudios previos que justifican que los parámetros de calidad de la energía en sistema de iluminación led son óptimos en términos de THDi, THDv, potencia real, factor de potencia, efecto joule y arranque con respecto a las luminarias HPS (convencional). En el caso de las luminarias HPS el ignitor es el

elemento encargado de proporcionar la tensión suficiente para el arranque y el balastro de mantener los niveles adecuados de tensión y corriente en estado estable, por otra parte, un capacitor hace la tarea de regular el factor de potencia en el sistema de la luminaria. En la luminaria LED el driver es el único elemento encargado de regular todos los parámetros de energía en el equipo, en ambos casos la selección del controlador adecuado marca la diferencia en el correcto desempeño del equipo.

2.6.2.1 Contenido armónico y factor de potencia con la inserción de cargas no lineales

El análisis armónico tiene modelados matemáticos que ayudan a entender el comportamiento de las magnitudes eléctricas ante la presencia de cargas no lineales, sin embargo, estos principios deben ser visualizados mediante el uso de equipos de medición y análisis tales como un osciloscopio y un analizador de calidad de la energía [19], [40].

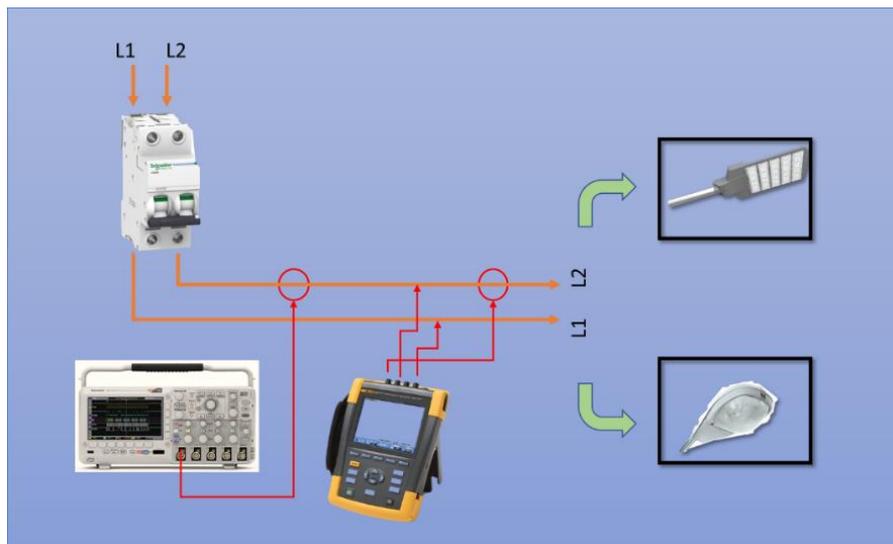


Figura 23-Esquema de conexión de elementos para análisis de calidad de la energía. Fuente: [autor]

Se puede reconocer la presencia de armónicos debido a que causan una distorsión en la onda fundamental (60Hz) con la presencia de señales con frecuencias múltiplo de la fundamental, siendo los de orden 3er, 5to y 9no los que más problemas representan a la red [26], [41]. En un circuito electrónico tenemos cargas reactivas no lineales tales como conmutadores, convertidores AC/DC y cargas ferromagnéticas, todo aquel elemento que requiere trabajar a una frecuencia diferente a la fundamental es causante

de THD (Total Harmonic Distortion). En el caso de la iluminación LED hablamos de fuentes conmutadas [29].

Para poder entender de mejor manera todos los conceptos, es importante mencionar que, en el triángulo de potencias, tenemos las ya conocidas Potencia Activa (P) medida en “W”, la Potencia Reactiva (Q) medida en “VAr” y la Potencia Aparente (S) medida en “VA”.

$$S = P + jQ \quad (14)$$

Entendiéndose que la potencia aparente es la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva, tomando en cuenta que hablamos de consumos en una frecuencia fundamental (60Hz en Ecuador). Por lo tanto, el factor de potencia o cos (fi) se describe de la siguiente manera [29].

$$fp = \cos(fi) = \frac{P_{fundamental}}{S_{fundamental}} = \frac{\frac{1}{T} \int V_i(t) \cdot i_i(t)}{V_{RMS} \cdot I_{RMS}} \quad (15)$$

$$fp = \frac{\frac{1}{T} \int V_i(t) \cdot i_i(t)}{\left(\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [V(t)]^2 \cdot dt} \right) \left(\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i(t)]^2 \cdot dt} \right)} \quad (16)$$

Donde:

$$\varphi = \varphi_v - \varphi_i$$

$$RMS = Valor\ eficaz$$

Cuando hablamos de distorsión armónica nos referimos a distorsión en voltaje y corriente, siendo esta última la que más suele verse afectada y a la cual se hace más referencia debido a la susceptibilidad en diferentes cargas, en Ecuador se recomienda que el THD de un equipo de iluminación no supere el 8% idealmente, sin embargo, en los mejores casos se ha llegado a encontrar luminarias con un THD<10 [42].

$$THD = \frac{valor\ eficaz\ de\ la\ distorsión}{valor\ eficaz\ de\ la\ fundamental} = \frac{I_{dist}}{I_1} \quad (17)$$

$$THD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots + I_{hmax}^2}}{I_1} = \sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2} \quad (18)$$

h: Refiere al orden de armónico

La frecuencia generada sobre la fundamental o armónico es múltiplo de la frecuencia fundamental. Ejemplo 2.f, 3.f, 4.f, ..., nf [26]. Con la presencia de armónicos el triángulo de potencias referido a cargas lineales cambia su forma, esto debido al incremento de cargas no- fundamentales, es decir, cargas no lineales. Aparecen en esta modificación el factor de desplazamiento y el factor de distorsión. En este punto la potencia reactiva pasa a tomar el nombre de potencia de desplazamiento debido a la deformación en el triángulo de potencias [29].

$$Q_{desp} = V \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_v - \varphi_{i1}) \quad (19)$$

Ahora la potencia aparente es la suma vectorial de la potencia activa, la potencia de desplazamiento (potencia reactiva) y la potencia de deformación. De esta manera el triángulo de potencias incluiría un vector más.

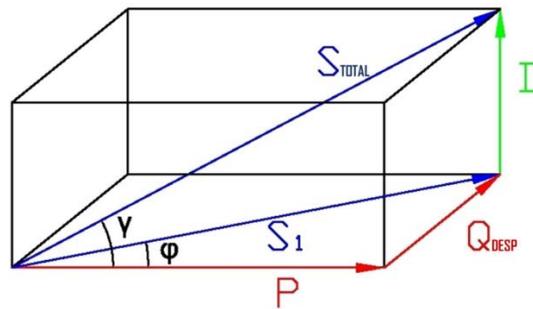


Figura 24-Triángulo de potencia con presencia de armónicos. Fuente: [autor]

Donde:

$$S_{total}^2 = P^2 + Q_{desp}^2 + D^2 \quad (20)$$

De esta manera el factor de potencia ya no se valora con “cos φ”, sino con un fp que relacione también a la presencia de potencia armónica en una red.

$$fp = fp_{desp} \cdot fp_{dist} = P/S = \frac{P_1 + P_H}{S} \neq \cos\varphi \quad (21)$$

Donde P_H es la potencia del armónico, fp_{desp} es el factor de potencia de desplazamiento y fp_{dist} es el factor de potencia de distorsión. El factor de potencia de desplazamiento es la componente de desplazamiento del factor de potencia de la onda

fundamental y el factor de potencia de distorsión es la componente donde se ve influenciado los componentes armónicos en THDi [29].

$$fp_{desp} = P_1/S_1 = \frac{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_{v1} - \varphi_{i1})}{V_1 \cdot I_1} = \cos(\varphi_{v1} - \varphi_{i1}) \quad (22)$$

$$= \cos(\varphi_{h1})$$

$$fp_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \quad (23)$$

De esta manera se deduce que el factor de potencia se puede obtener con la siguiente ecuación.

$$fp \cong \cos \varphi \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \quad (24)$$

En la ecuación (24) tenemos una deducción que nos ayuda a obtener de forma simplificada el fp considerando el THDi de placa de un equipo de iluminación. En Ecuador el fp mínimo exigido por las distribuidoras es de 0.92 (en la onda fundamental) es decir que para un equipo de iluminación con un contenido de armónico del 10% el fp sería [29]:

$$fp = \cos \varphi \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

$$fp = (0.92) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (0.1)^2}}$$

$$fp = 0.9154$$

Es por ello por lo que en Ecuador la sugerencia es que los equipos de iluminación basados en tecnología LED y Fluorescentes no superen el 20% de contenido armónico THDi [5], [7] y mientras que la distorsión en THDv no debería superar el 8% (en bajo voltaje) [43], siendo la THDi la más importante a ser evaluada por las empresas distribuidoras a sus clientes.

2.6.2.2 Efecto de atenuación armónica en cargas conectadas en paralelo con niveles de potencia y características iguales

En los distintos tipos de diseños de cargas en paralelo estudiados en [42] se toma en cuenta una particularidad en el efecto de atenuación armónica causado por cargas de características iguales, para nuestro caso en particular en el sistema de alumbrado público a diseñarse, todos los puntos eléctricos (luminarias) estarán conectados a un transformador eléctrico por medio de una acometida que llega hasta un tablero de distribución principal, por ello este efecto es de interés para propósitos de calidad del proyecto, especialmente cuando haya auditorías (en el caso de requerirse).

Es importante mencionar que la atenuación se lleva a cabo debido a la distorsión del voltaje y por la impedancia propiamente generada en el sistema, estos dos factores tienden a reducir el THDi en la red. [42]

$$FA_k = \frac{I_{k(n)}}{n \cdot I_{k(1)}} \quad (25)$$

Donde:

FA_k : Factor de atenuación para el armónico K

$I_{k(n)}$: Corriente para el armónico K con n cargas conectadas en paralelo

$I_{k(1)}$: Corriente para el armónico K con una sola carga conectada

Con el factor de atenuación podemos estimar el efecto causado por la inserción de las luminarias led en un sistema de cargas homogéneas. Así por ejemplo en [42] se consiguieron los siguientes datos respecto a la atenuación generada al aumentar el número de cargas iguales en un sistema .

Tabla 26-Factor de atenuación para cargas idénticas en paralelo. Fuente: [42]

Factor de Atenuación para Cargas Idénticas en Paralelo						
Cantidad de unidades en paralelo	5	10	15	20	25	
FA3	0.94	0.87	0.82	0.76	0.71	
FA5	0.85	0.70	0.58	0.47	0.39	
FA7	0.60	0.25	0.01	0.16	0.25	
FA9	0.67	0.83	0.85	0.77	0.68	
FA11	0.87	0.63	0.35	0.15	0.04	
FA13	0.38	0.17	0.51	0.61	0.61	
FA15	0.73	0.86	0.67	0.42	0.19	
FA17	0.83	0.39	0.11	0.33	0.43	
FA19	0.13	0.57	0.76	0.60	0.35	

La sobreestimación del efecto armónico en los sistemas eléctricos quizás es una de las mayores causales de sobredimensionamiento en los diseños eléctricos, los análisis de laboratorio tienden a evaluar el THD conforme al comportamiento de una carga de forma individual, sin embargo, queda de lado la evaluación del comportamiento del sistema de iluminación sometido a operación en campo. En el caso de los sistemas de alumbrado público generalmente las cargas son homogéneas, por lo tanto, el efecto de atenuación armónica será mayor a medida que aumenten el número de unidades conectadas en paralelo. Para poder llevar a cabo este estudio es necesario que se haga un estudio de calidad de la energía, cómo se muestra en la (Figura 23).

2.6.2.3 Driver AC/DC tipo fuente conmutada

Luego de haber sido descrito la definición del driver en “2.4.3 Driver” cabe profundizar en aspectos relacionados a su correcto funcionamiento y parámetros importantes para su selección. En la gama de selección tenemos las fuentes de alimentación lineales y las conmutadas. Las fuentes lineales son muy económicas y sencillas debido a la poca complejidad de su funcionamiento (Transformador, rectificador, estabilizador y regulador lineal de corriente) pero presentan inestabilidad ante variaciones de voltaje afectando directamente el flujo de corriente de suministro. Por otra parte, tenemos las fuentes de alimentación conmutadas, que en sus partes poseen:

- Filtro EMI (Filtro de Interferencia Electromagnética)
- Rectificador AC/DC
- Regulador conmutado (switching-PWM)
- Estabilizador (rectificadores y filtros)

Esta fuente basa su principio en abrir y cerrar el circuito a una frecuencia elevada, se aprovecha el poder de almacenamiento de energía en forma de campo magnético de la bobina para suministrar flujo de corriente cuando el circuito está abierto y cargándose cuando el circuito está cerrado.

La conmutación es la encargada de mantener una estabilidad en el voltaje y la corriente en dependencia de la frecuencia de apertura y cierre (40-50kHz). La tarea de los filtros

estabilizadores es mantener la compatibilidad electromagnética para no causar interferencia en otros equipos.

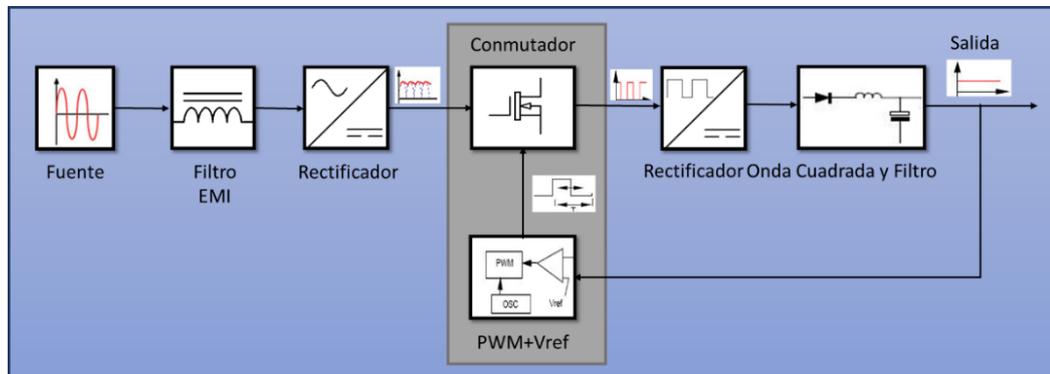


Figura 25-Esquema de componentes de una fuente conmutada. Fuente: [autor]

En la Figura 25 se puede apreciar cada una de las partes que componen a una fuente conmutada, caracterizada por mantener niveles de voltaje estable ante variaciones en la tensión. A continuación, se describe la funcionalidad de cada parte.

Filtro de Interferencia Electromagnética (EMI).

Aparece cuando el campo electromagnético de una carga afecta al campo electromagnético de otra carga, sin embargo, son más notorios cuando existen picos de alta frecuencia en la tensión o la corriente, su lugar de origen en las fuentes conmutadas es en las distintas etapas de rectificación y conmutación, el filtro EMI evita la propagación de frecuencias no deseadas en la red eléctrica.

Rectificador AC/DC.

Es el encargado de convertir la señal AC de 60Hz a una señal DC periódica. La rectificación por onda completa es la más ampliamente utilizada, para poder evitar que el voltaje caiga a 0 volts se usa un capacitor que mantiene cargada la línea cuando el circuito está cerrado y se descarga cuando el circuito está abierto.

Regulador conmutado (Switching+PWM).

Es la parte principal de nuestra fuente, ya que regula el voltaje y la corriente suministrada a la carga ante variaciones en la tensión de la fuente, cambios de temperatura y variaciones en la corriente consumida por los led's. El PWM por otra parte controla el ciclo de trabajo de la señal conmutada, es decir controla la apertura y

el cierre de energía hacia la etapa de rectificación y filtrado, este PWM trabaja comparando el voltaje recibido del sensor de voltaje que a su vez envía señales a un fototransistor (optoacoplador), la intensidad de la corriente que circula por el fototransistor (receptor) es proporcional a la intensidad luminosa emitida por el foto-emisor, este mecanismo permite modular los pulsos PWM sin comprometer partes sensibles del circuito y por lo tanto también la frecuencia de apertura y cierre del conmutador.

Estabilizador y Filtrado.

Se encarga de rectificar la señal cuadrada DC y llevarla a una señal deseada, por otra parte, en el filtrado final se trabaja a frecuencias muy elevadas, debido al proceso de conmutación. Este rectificador consiste únicamente de un diodo y un condensador, los pulsos positivos son acumulados en el condensador, mientras que el diodo evita el retorno de la energía hacia otras etapas del circuito, por lo tanto, el diodo y el condensador en el circuito deben estar aptos para operar a alta frecuencia.

CAPÍTULO III DISEÑO FOTOMÉTRICO

En el nuevo diseño se pone en prioridad que las luminarias LED superen las características fotométricas de las luminarias HPS instaladas en la actualidad, lo cual teóricamente ya fue despejado en “2.6.1.1.4 Resultados comparativos de parámetros fotométricos de luminarias HPS vs LED”. Para este capítulo se acondicionará las características de la Av. De los Cofanes en Dialux y se seguirán las directrices para el diseño de Sistemas de Alumbrado Público según la norma RTE-INEN 069 y sus modificaciones y otras recomendaciones más actualizadas del MERNNR y CONELEC.

En primera instancia se fijan aquellos requerimientos generales, principalmente exigidos por normativa. Siendo los siguientes los considerados para tener en cuenta.

- Requerimientos de visibilidad
- Cantidad y calidad de la luz
- Confiabilidad de la percepción
- Comodidad visual

- Relación de alrededor (SR)
- Evaluación económica y financiera
- Uso racional y eficiente de la energía
- Condiciones ambientales de la localidad
- Requerimientos de las normas de mobiliario humano

3.1 Requerimientos técnicos del diseño fotométrico

Los requerimientos técnicos se van llenando de acuerdo con las características propias del lugar. Para la Av. De los Cofanes, la configuración de la vía descrita de forma ordenada consta de:

- Acera peatonal
- Calzada en sentido Nueva Loja-Quito
- Parterre con arborización
- Calzada principal en dos sentidos Nueva Loja-Quito/ Quito-Nueva Loja
- Parterre con arborización
- Calzada en sentido Quito-Nueva Loja
- Acera peatonal

Por lo tanto, tendremos que configurar cada vía acorde a las necesidades del usuario peatonal y motorizado. **La sugerencia de la RTE INEN 061 es que para estos casos se trabaje cada calzada de manera particular en virtud de las necesidades lumínicas de cada calzada**, de tal manera que la configuración de los postes sea de disposición doble en cada parterre, a manera de ahorrar recursos y simplificar el mantenimiento en el sistema. Por otra parte, se puede trabajar de tal forma que la vía principal sea una M3 y las vías secundarias sean M4 debido al grado de necesidad lumínica de cada calzada.

Tabla 27- Requerimientos técnicos para el diseño de alumbrado público en la Av. de los Cofanes del GADMCGP-Vías tipo M3

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA AV. DE LOS COFANES DEL GADMCGP-VÍAS TIPO M3			
Clase de iluminación	M3	Vías principales y ejes viales Velocidad 30<V<60 km/h Tránsito vehicular 250<T<500	Lm≥1 cd/m ² U _o ≥40% U _l ≥60% T _i ≤15 S _r ≥0.5 U _o (E _{min} /E _{prom})≥34%
Disposición de luminarias	M3	Altura de postes entre 8.5-10m	Relación de interdistancia de postes y altura de montaje (S/H) 3.5-4 (adimensional)
Clasificación de la superficie según el factor S1	R4	Asfalto mastico después de varios meses de uso; superficies con textura bastante suave o pulimentada	Valor promedio de iluminancia a mantener. Vía M3 y superficie R4: 15 lux
Densidad de potencia para alumbrado de vías (DPEA)	M3-Tipo de vía de R4-Tipo de superficie	15lux de iluminancia promedio mantenida	Densidad de potencia máxima (w/m ²) para una calzada entre 10,1 a 12m de ancho: 0.93 w/m ²

Tabla 28- Requerimientos técnicos para el diseño de alumbrado público en la Av. de los Cofanes del GADMCGP-Vías tipo M4

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA AV. DE LOS COFANES DEL GADMCGP-VÍAS TIPO M4			
Clase de iluminación	M4	Vías primarias o colectoras Velocidad V<30 km/h Tránsito vehicular 100<T<250	Lm≥0.75 cd/m ² U _o ≥40% U _l ≥60% T _i ≤15 S _r ≥0.5 U _o (E _{min} /E _{prom})≥25%
Disposición de luminarias	M4	Altura de postes entre 7-9m	Relación de interdistancia de postes y altura de montaje (S/H) 3.5-4 (adimensional)
Clasificación de la superficie según el factor S1	R4	Asfalto mastico después de varios meses de uso; superficies con textura bastante suave o pulimentada	Valor promedio de iluminancia a mantener. Vía M4 y superficie R4: 10 lux
Densidad de potencia para alumbrado de vías (DPEA)	M4-Tipo de vía de R4-Tipo de superficie	10lux de iluminancia promedio mantenida	Densidad de potencia máxima (w/m ²) para una calzada entre 8,1 a 10m de ancho: 0.66 w/m ²

Cabe recalcar que en la disposición de luminarias la relación de interdistancia es una sugerencia que ofrece como guía mantener una adecuada distribución de la luz en

disposición unilateral, por lo tanto, para una disposición central doble este aspecto puede variar en menor medida.

Tabla 29- Requerimientos técnicos para el diseño de alumbrado público en la Av. de los Cofanes del GADMCGP-Acera tipo P3

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA AV. DE LOS COFANES DEL GADMCGP-ACERA TIPO P3		
Vías para tráfico peatonal y ciclistico	P3	Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas
		E _{prom} =7.5lux E _{min} =1.5lux

En la zona de instalación de las luminarias en cada parterre se encuentran ubicados arboles con fines ornamentales, con la finalidad de garantizar la interdistancia entre luminarias, así como también la construcción de la red subterránea en muchos casos es necesario remover o realizar un replanteo. Por otro lado, se puede llevar a cabo una coordinación, donde se pueda mantener los parámetros fotométricos y la arborización variando la altura de montaje, interdistancia, disposición de las luminarias, modificando la longitud del brazo de montaje y ángulo de inclinación.

Una variación del 10% en la interdistancia de los postes no afecta en la calidad de la iluminación. Cuando se trata de una sola luminaria se puede permitir hasta un 20% de variación en la interdistancia.

Según el plano polar de nuestra luminaria seleccionada, mostrada en la (Figura 17) el ángulo de apertura en sentido horizontal es de 70°, mismo que corresponde al ángulo de línea de poda.

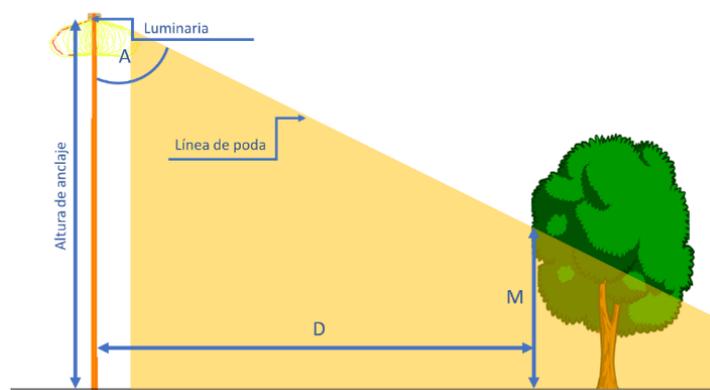


Figura 26-Influencia de la arborización en la distribución luminosa. Fuente: [autor]

A simple vista puede parecer que la presencia de vegetación afecta en gran manera a la dispersión normal de la luz, sin embargo, se debe podar únicamente aquellas ramas

que interfieren directamente con el haz luminoso, ya que el cuerpo propio del árbol y otros objetos presentes ayudan a aumentar el apantallamiento de la luz, mejorando la percepción en el campo de visión.

3.2 Configuración de parámetros físicos de la vía en Dialux

Para la configuración de parámetros tanto fotométricos y físicos de la vía, nos basamos de acuerdo con los planos oficiales de la ciudad de Lumbaqui que se encuentran en archivo CAD y han sido proporcionados por el GADMCGP.



Figura 27-Croquis parcial de la Av. De los Cofanes-Lumbaqui. Fuente: [autor]

La configuración física de la vía está estandarizada a los 150m lineales que nos permite simular DIALux, se trabaja con la medida más ancha de las diferentes calzadas como de las aceras y los parterres, esto último debido a que no hay una simetría exacta a lo largo del recorrido de la avenida, considerando que es un factor común en las urbes. De esta manera se evita que haya secciones de la avenida que no cumplan con los parámetros requeridos.

Tabla 30-Configuración de parámetros físicos en la vía

CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS EN LA VÍA				
Nombre corto	Descripción	Referencia	Tipo	Medidas
Acera 1	Acera en sentido Quito Nueva-Loja	Adyacente al parque Central Lumbaqui	P3	Ancho: 2m Altura: 0.15m
Calzada 1	Calzada alterna en sentido Quito-Nueva Loja	Adyacente al parque Central Lumbaqui	M4	Ancho: 9.5m Carriles: 1
Parterre 1	Parterre sentido Quito-Nueva Loja	Adyacente a la Calzada 1	Arborización	Ancho: 2.55m Altura: 0.15m
Calzada 2	Calzada central doble sentido	Intermedia	M3	Ancho: 13m Carriles: 2
Parterre 2	Parterre sentido Nueva Loja-Quito	Adyacente a Calzada 3	Arborización	Ancho: 2.55m Altura: 0.15m
Calzada 3	Calzada alterna en sentido Nueva Loja-Quito	Adyacente al Centro de Salud Lumbaqui	M4	Ancho: 9.6m Carriles: 1
Acera 2	Acera en sentido Nueva Loja-Quito	Adyacente al Centro de Salud Lumbaqui	P3	Ancho: 4m Altura: 0.15m

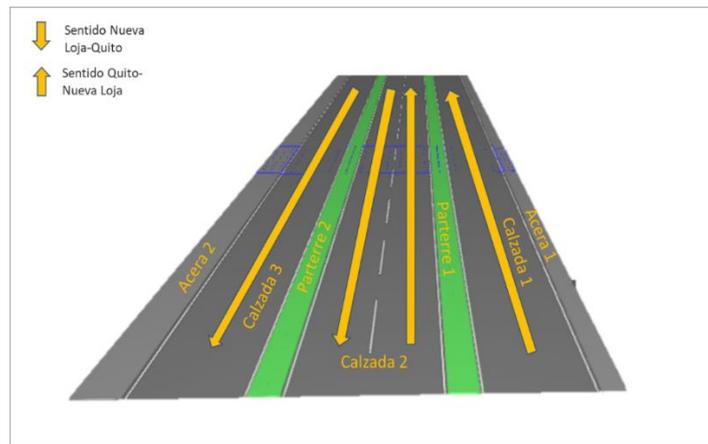


Figura 28-Configuración en DIALux-Av. De los Cofanes. Fuente: [autor]

3.3 Configuración de luminarias LED en la instalación

En esta sección se configura el modelo de luminaria que mejor se ajustó a las necesidades visuales de peatones y motorizados, en primera instancia se evaluará los parámetros fotométricos y en segundo lugar su eficiencia. La comparación de los parámetros se los hará de acuerdo con los datos arrojados por el informe generado por DIALux en la sección “Documentación”. La configuración de los mástiles y brazos se la realiza de tal forma que se pueda aprovechar al máximo el flujo luminoso emitido por las luminarias.

Tabla 31- Configuración de mástil y brazo en las luminarias

CONFIGURACIÓN DE MASTIL Y BRAZO EN LAS LUMINARIAS				
Descripción	Referencia			Características
Mástil y brazo con orientación perpendicular a M3	(Calzada 2) Carril	Sentido	Quito-Nueva Loja	Interdistancia: 30m Altura: 10m Incli. Brazo: 15° Long. Brazo: 1.5m
Mástil y brazo con orientación perpendicular a M3	(Calzada 2) Carril	Sentido	Nueva Loja-Quito	Interdistancia: 30m Altura: 10m Incli. Brazo: 15° Long. Brazo: 1.5m
Mástil y brazo con orientación perpendicular a M3	(Calzada 2) Carril	doble-parte unilateral		Interdistancia: 30m Altura: 10m Incli. Brazo: 15° Long. Brazo: 1.5m
Mástil y brazo con orientación perpendicular a M4	(Calzada 1) (Acera 1)	Sentido	Quito-Nueva Loja	Interdistancia: 30m Altura: 8.5m Incli. Brazo: 15° Long. Brazo: 1.5m
Mástil y brazo con orientación perpendicular a M4	(Calzada 3) (Acera 2)	Sentido	Quito-Nueva Loja	Interdistancia: 30m Altura: 8.5m Incli. Brazo: 15° Long. Brazo: 1.5m

La interdistancia se selecciona a 30m de distancia con la finalidad de que se pueda disminuir en menor medida los gastos en posteria, cementación de bases y desbroce de vegetación. La relación S/H para la “Calzada 2” es menor de la recomendada por la normativa (S=30m, H=10m, S/H=3) para sentido unilateral, pero para este caso se compensa dado que la avenida cuenta con iluminación paralela en cada carril de la calzada. En el caso de la parte unilateral que inicia desde la Av. De los Cofanes y Call. 4 de junio hasta Av. De los Cofanes y Call. N°01, se incrementó el nivel de potencia de las luminarias, con el fin de mantener la interdistancia de diseño sin afectar los parámetros luminotécnicos.

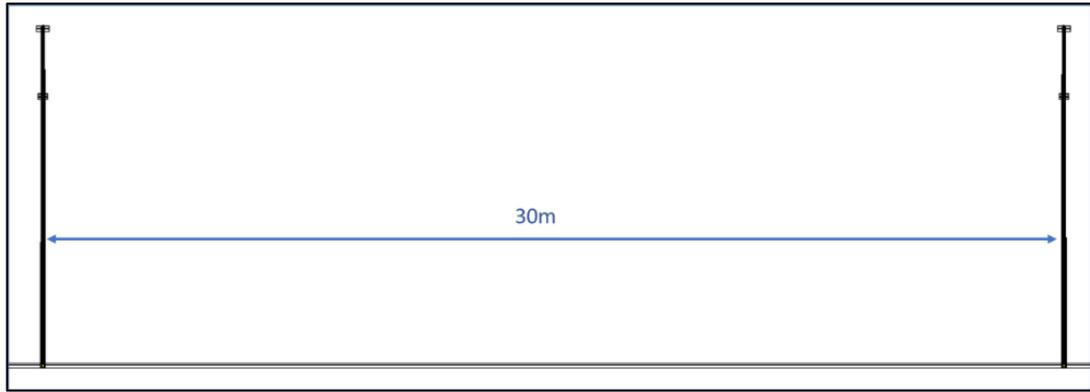


Figura 29-Interdistancia de luminarias. Fuente: [autor]

La altura de los postes a 10m en la “Calzada 2” considerada la acera principal, proporciona mayor comodidad visual al conductor debido al bajo efecto de deslumbramiento, comúnmente provocado por luminarias con interdistancia corta y altura inadecuada. A simple vista el conductor solo aprecia la luminosidad incidida sobre la superficie de la calzada, más no el foco de esta y por otra parte ayuda a mejorar la uniformidad longitudinal en la calzada.



Figura 30-Vista de un usuario en Acera 2 (Vía central-M3). Fuente: [autor]

El ángulo de inclinación del brazo con respecto a la perpendicular del mástil se configuró a 15° , la normativa nos permite variar este parámetro hasta máximo 20° , sin embargo, los parámetros se ajustan de mejor manera cuando fijamos el ángulo en 15° , principalmente en la U_o y U_l y este patrón se repite en el caso de todas las calzadas, en el caso de las aceras una configuración con 15° nos ha permitido mantener la E_m dentro del parámetro fijado manualmente en el programa ($7.70lx \leq E_m \leq 11.25lx$).

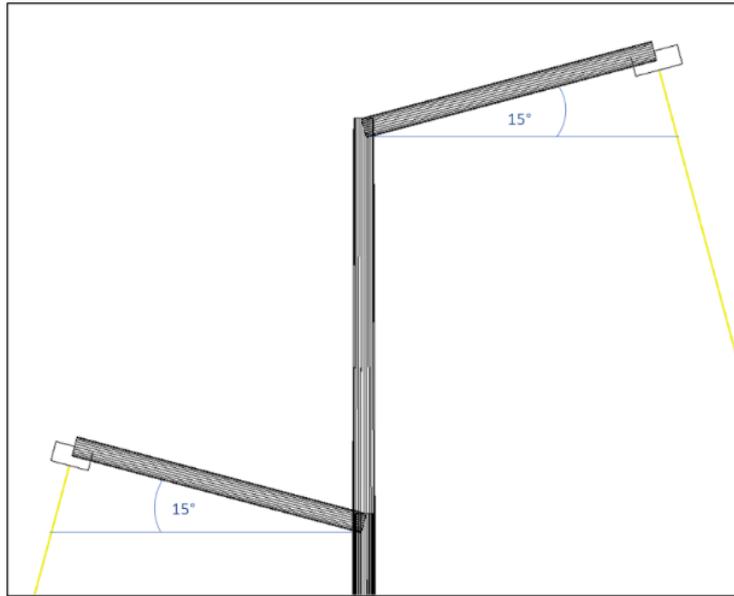


Figura 31-Ángulo del brazo. Fuente: [autor]

Para el caso de las luminarias de las vías alternas “Calzada 1 y Calzada 3” el brazo se coloca a 8.5m de altura en el mástil, esto debido a la menor exigencia en el tránsito vehicular (tipo M4), por el contrario, se prioriza el tránsito peatonal, evitando deslumbramiento y una iluminancia media por encima de la mínima en las aceras 1 y 2.

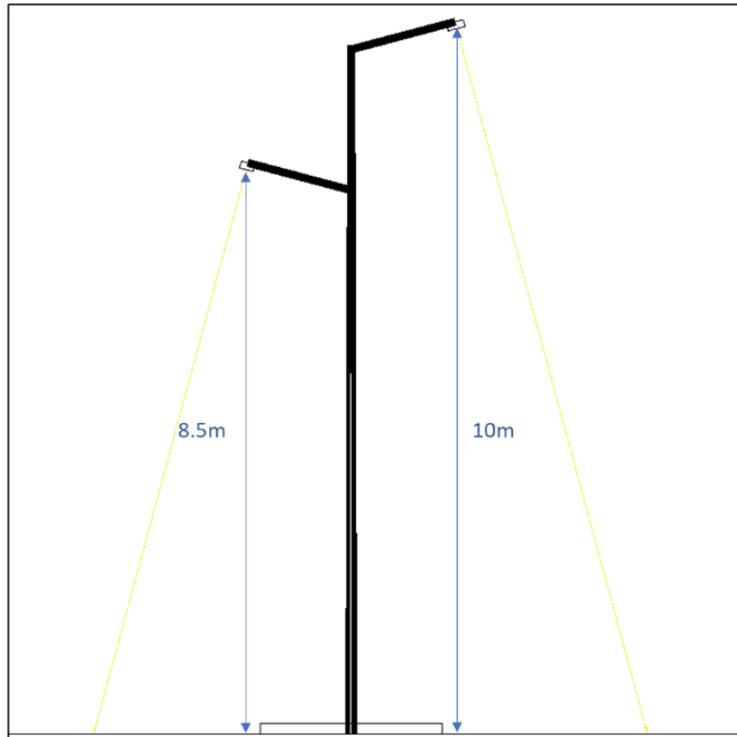


Figura 32-Altura de luminarias. Fuente: [autor]

La longitud del brazo de la luminaria a 1.5m perpendicular al mástil, permiten priorizar la iluminación de la calzada por sobre la arborización, es una de las medidas tomadas para evitar que se tenga que realizar desbroce de vegetación por interrupción del haz luminoso de la luminaria.

3.4 Memoria descriptiva y de cálculos fotométricos generados por DIALux para 150m lineales de calzada

Para la simulación se tuvieron que emplear dos escenarios, en los cuales se considera:

- 1er escenario: Acera 1, Calzada 1, Parterre 1, Calzada 2, Parterre 2.
- 2do escenario: Parterre 1, Calzada 2, Parterre 2, Calzada 3, Acera 2
- 3er escenario: Acera 1, Calzada 1, Parterre 1, Calzada 2 (parte unilateral)

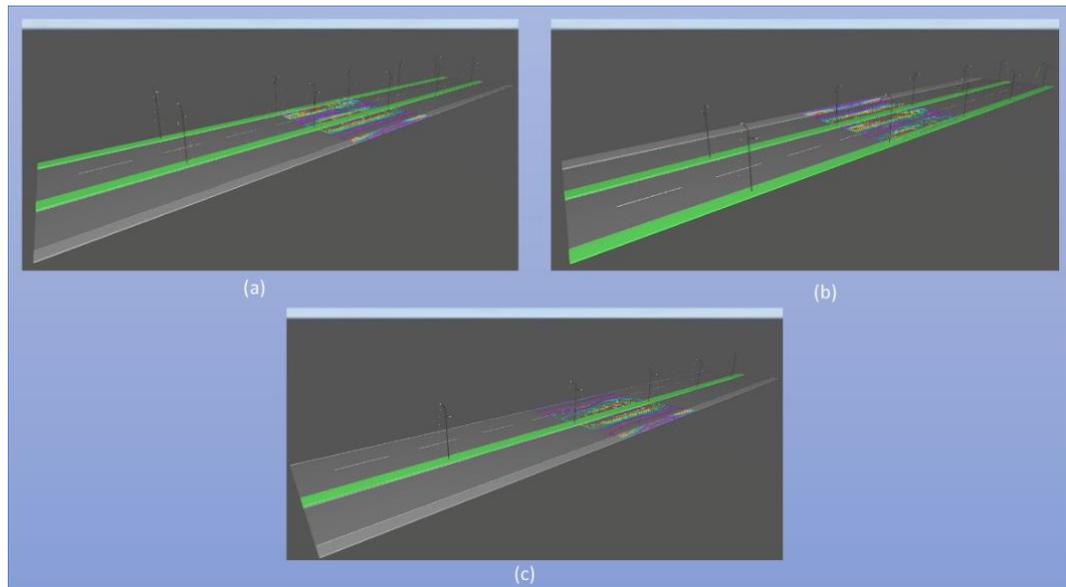


Figura 33-Escenario 1 (a), Escenario 2 (b), Escenario 3 (c). Fuente: [autor]

Los parámetros fotométricos base resultaron positivos para todos los escenarios, sin embargo, hubo una mínima variabilidad en la “Calzada 2” que no afecta en el cumplimiento de los parámetros fotométricos. A continuación, se describe dicha variación.

Tabla 32-Variación de parámetros fotométricos base en la Calzada 2 para escenarios 1 y 2

VARIACIÓN DE PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS BASE EN LA CALZADA 2 PARA ESCENARIO 1 Y ESCENARIO 2				
Parámetro	Valor nominal	Escenario 1	Escenario 2	Diferencia porcentual en escenario 2 respecto a escenario 1
Lm [cd/m ²]	≥1	2.37	2.35	0.8438%
U _o	≥0.40	0.82	0.80	2.4390%
UI	≥0.60	0.89	0.89	0.0000%
TI	≤15	6	7	14.280%
EIR	≥0.50	0.76	0.72	5.2631%

Esta variación se da principalmente por la influencia de las luminarias destinadas a las vías Tipo M4, es decir las Calzadas 1 y 3. Tomaremos el valor promediado de los dos valores para la generación del informe de cálculo.

3.4.1 Lista de luminarias.

Se contabiliza la cantidad total de equipos de iluminación usados para la simulación, la potencia instalada por cada equipo y su eficiencia en el sistema.

Tabla 33-Parámetros de luminarias instaladas en la simulación

PARAMETROS DE LUMINARIAS INSTALADAS EN LA SIMULACIÓN					
Unidades	Fabricante	Modelo	Potencia [w]	Flujo luminoso [lm]	Rendimiento lumínico [lm/w]
15	Ledvance	SL Flex MD P 80W 730 RV25ST WAL	80	11400	142.5
10	Ledvance	SL Flex LA P 110W 740 RV25ST WAL	110	16800	152.7
5	Ledvance	SL Flex LA P 158W 740 RV35ST WAL	158	23900	151.3
Flujo luminoso total instalado [lm]:					458500
Potencia eléctrica total instalada [w]:					3090
Eficiencia general calculada [lm/w]					148.83

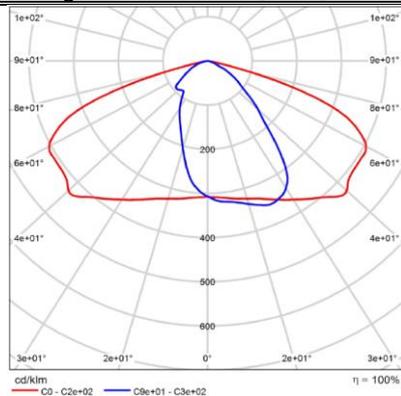


Figura 34-CDL Polar Luminaria SL Flex MD P 80W 730 RV25ST WAL. Fuente: [44]

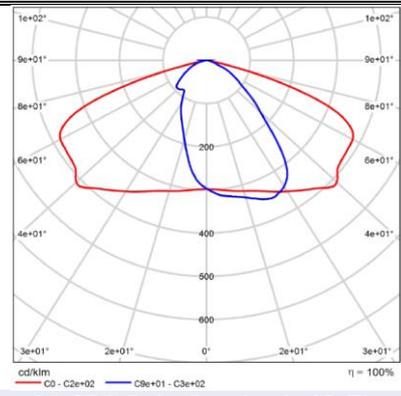


Figura 35-CDL Polar Luminaria SL Flex LA P 110W 740 RV25ST WAL. Fuente: [44]

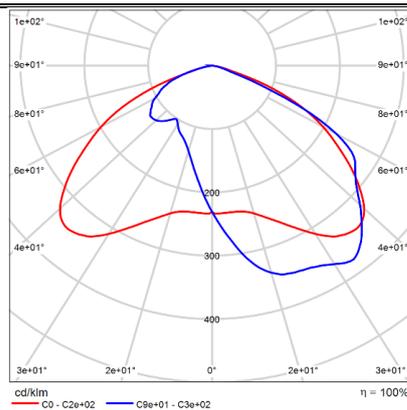


Figura 36-CDL Polar Luminaria SL Flex LA P 158W 740 RV35ST WAL. Fuente: [44]

3.4.2 Resultado de parámetros fotométricos base.

Los parámetros base son aquellos que han sido obtenidos de la normativa RTE-INEN 069 y sus actualizaciones. Estos son los principales indicadores de la calidad del diseño fotométrico.

Tabla 34-Parametros base de la vía

Parámetros base de la vía					
Tipo	Parámetro	Valor nominal	Calzada 2		
M3	Lm [cd/m ²]	≥1	2.36		
	Uo	≥0.40	0.81		
	UI	≥0.60	0.89		
	TI	≤15	6.50		
	EIR	≥0.50	0.74		
Tipo	Parámetro	Valor nominal	Calzada 1	Calzada 3	
M4	Lm [cd/m ²]	≥0.75	1.35	1.30	
	Uo	≥0.40	0.46	0.50	
	UI	≥0.60	0.82	0.81	
	TI	≤15	6.00	5.00	
	EIR	≥0.50	1.67	1.69	
Tipo	Parámetro	Valor nominal	Calzada 2		
M3 (unilateral)	Lm [cd/m ²]	≥1	1.08		
	Uo	≥0.40	0.45		
	UI	≥0.60	0.71		
	TI	≤15	4		
	EIR	≥0.50	0.51		
Tipo	Parámetro	Valor nominal	Calzada 1		
M4 (unilateral)	Lm [cd/m ²]	≥0.75	1.23		
	Uo	≥0.40	0.47		
	UI	≥0.60	0.78		
	TI	≤15	6		
	EIR	≥0.50	1.22		
Tipo	Parámetro	Valor nominal	Acera 1	Acera 2	Acera 2 (unilateral)
P3	Em [lx]	≥7.50	9.68	7.91	9.64
	Emin [lx]	≤11.25 ≥1.5	7.65	5.84	7.17

3.4.3 Resultado de parámetros fotométricos específicos.

En este apartado se toma en consideración la percepción desde el punto de vista de un observador, cómo se trató en “2.6.1.1.1 Densidad de la grilla de cálculo en iluminación de carreteras.”, así como también parámetros más a detalle, tales como:

- Valor mantenido de iluminancia horizontal
- Valor mantenido de luminancia en calzada seca
- Luminancia para una instalación nueva

3.4.3.1 Parámetros fotométricos específicos para Calzada 1

Tabla 35-Parámetros específicos para Calzada 1 [M4]

Parámetros específicos para Calzada 1 [M4]				
Punto de ubicación en el plano	Parámetro	Valor nominal	Valor calculado	Percepción del observador
Observador 1 Posición: -60, 6.75, 1.5 m	Lm [cd/m ²]	≥0.75	1.35	1.35
	Uo	≥0.40	0.46	0.46
	UI	≥0.60	0.82	0.82
	TI	≤15	6.00	6.00
	EIR	≥0.50	1.67	-
Valor de mantenimiento de iluminancia horizontal [lx]	Em	Emin	Emax	Emin/Em
	22.8	11.1	41.7	0.487
Valor de mantenimiento de luminancia en calzada seca [cd/m²]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
	1.35	0.62	2.51	0.46
Luminancia para una instalación nueva [cd/m²]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
	2.01	0.93	3.75	0.461

Tabla 36- Parámetros específicos para Calzada 1 en Escenario 3 [M4]

Parámetros específicos para Calzada 1 en Escenario 3 [M4] (Lado unilateral)				
Punto de ubicación en el plano	Parámetro	Valor nominal	Valor calculado	Percepción del observador
Observador 1 Posición: -60, 6.75, 1.5 m	Lm [cd/m ²]	≥0.75	1.23	1.23
	Uo	≥0.40	0.47	0.47
	UI	≥0.60	0.78	0.78
	TI	≤15	6.00	6.00
	EIR	≥0.50	1.22	-
Valor de mantenimiento de iluminancia horizontal [lx]	Em	Emin	Emax	Emin/Em
	21.8	10.2	42.5	0.468
Valor de mantenimiento de luminancia en calzada seca [cd/m²]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
	1.23	0.58	2.17	0.469
Luminancia para una instalación nueva [cd/m²]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
	1.84	0.86	3.23	0.469

3.4.3.2 Parámetros fotométricos específicos para Calzada 2

Tabla 37- Parámetros específicos para Calzada 2 en Escenario 1 [M3]

Parámetros específicos para Calzada 2 en Escenario 1 [M3]				
Punto de ubicación en el plano	Parámetro	Valor nominal	Valor calculado	Percepción del observador
Observador 1 Posición: -60, 5.80, 1.5 m	Lm [cd/m ²]	≥1	2.37	2.37
	Uo	≥0.40	0.82	0.82
	UI	≥0.60	0.89	0.89
	TI	≤15	6	6
	EIR	≥0.50	0.76	-
Observador 2 Posición: -60, 12.301, 1.5 m	Lm [cd/m ²]	≥1	2.37	2.37
	Uo	≥0.40	0.82	0.82
	UI	≥0.60	0.89	0.89
	TI	≤15	6	6
	EIR	≥0.50	0.76	-
Valor de mantenimiento de iluminancia horizontal [lx]	Em	Emin	Emax	Emin/Em
	40.1	26.6	54.1	0.665
Valor de mantenimiento de luminancia en calzada seca [cd/m²]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
Observador 1	2.37	1.94	2.85	0.817
Observador 2	2.37	1.94	2.85	0.817
Luminancia para una instalación nueva [cd/m²]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
Observador 1	3.54	2.90	4.26	0.817
Observador 2	3.54	2.90	4.26	0.817

Tabla 38-Parámetros específicos para Calzada 2 en Escenario 2 [M3]

Parámetros específicos para Calzada 2 en Escenario 2 [M3]				
Punto de ubicación en el plano	Parámetro	Valor nominal	Valor calculado	Percepción del observado r
Observador 1 Posición: -60, 5.80, 1.5 m	Lm [cd/m2]	≥ 1	2.35	2.37
	Uo	≥ 0.40	0.80	0.82
	UI	≥ 0.60	0.89	0.89
	TI	≤ 15	7	6
	EIR	≥ 0.50	0.72	-
Observador 2 Posición: -60, 12.301, 1.5 m	Lm [cd/m2]	≥ 1	2.35	2.35
	Uo	≥ 0.40	0.80	0.80
	UI	≥ 0.60	0.89	0.89
	TI	≤ 15	7	7
	EIR	≥ 0.50	0.72	-
Valor de mantenimiento de iluminancia horizontal [lx]	Em	Emin	Emax	Emin/Em
	40.8	26.7	54.5	0.653
Valor de mantenimiento de luminancia en calzada seca [cd/m2]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
Observador 1	2.37	1.96	2.82	0.825
Observador 2	2.35	1.89	2.85	0.805
Luminancia para una instalación nueva [cd/m2]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
Observador 1	3.54	2.92	4.20	0.825
Observador 2	3.51	2.82	4.26	0.805

Tabla 39-Parámetros específicos para Calzada 2 en Escenario 3 [M3] (Lado unilateral)

Parámetros específicos para Calzada 2 en Escenario 3 [M3] (Lado unilateral)				
Punto de ubicación en el plano	Parámetro	Valor nominal	Valor calculado	Percepción del observador
Observador 1 Posición: -60, 5.80, 1.5 m	Lm [cd/m ²]	≥1	1.08	1.08
	Uo	≥0.40	0.45	0.47
	UI	≥0.60	0.71	0.71
	TI	≤15	4	4
	EIR	≥0.50	0.51	-
Observador 2 Posición: -60, 12.301, 1.5 m	Lm [cd/m ²]	≥1	1.08	1.20
	Uo	≥0.40	0.45	0.45
	UI	≥0.60	0.71	0.88
	TI	≤15	4	3
	EIR	≥0.50	0.51	-
Valor de mantenimiento de iluminancia horizontal [lx]	Em	Emin	Emax	Emin/Em
	23.0	11.8	39.5	0.513
Valor de mantenimiento de luminancia en calzada seca [cd/m²]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
Observador 1	1.08	0.51	2.27	0.472
Observador 2	1.20	0.54	2.27	0.449
Luminancia para una instalación nueva [cd/m²]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
Observador 1	1.61	0.76	3.39	0.472
Observador 2	1.79	0.80	3.39	0.449

3.4.3.3 Parámetros fotométricos específicos para Calzada 3.

Tabla 40-Parámetros específicos para Calzada 3 [M4]

Parámetros específicos para Calzada 3 [M4]				
Punto de ubicación en el plano	Parámetro	Valor nominal	Valor calculado	Percepción del observador
Observador 1 Posición: -60, 6.75, 1.5 m	Lm [cd/m ²]	≥0.75	1.30	1.30
	Uo	≥0.40	0.50	0.50
	UI	≥0.60	0.81	0.81
	TI	≤15	5.00	5.00
	EIR	≥0.50	1.69	-
Valor de mantenimiento de iluminancia horizontal [lx]	Em	Emin	Emax	Emin/Em
	22.7	11.0	41.7	0.486
Valor de mantenimiento de luminancia en calzada seca [cd/m²]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
	1.30	0.65	2.25	0.495
Luminancia para una instalación nueva [cd/m²]	Lm	Lmin	Lmax	Lmin/Lm
	1.95	0.96	3.36	0.495

CAPÍTULO IV DISEÑO ELÉCTRICO

En este capítulo se determina variables de consumo energético, que nos sirvan como principales datos para el dimensionamiento del sistema, con esto nos referimos a calibre de conductores, ampacidad de elementos de conexión, coordinación de protecciones del sistema, cálculos de caída de tensión, cálculos de pérdidas por efecto joule, sistema de puesta a tierra y mecanismos de conexión y desconexión en función del fin (control o protección). Para poder iniciar con el diseño eléctrico primero determinamos un esquema funcional que determine los puntos de instalación de las luminarias en el plano real, respetando cada criterio que se estableció en el CAPÍTULO III. Las especificaciones de los equipos recomendados para el diseño nos proveen el fabricante por lo tanto en base a estas se realizará la determinación del cuadro de cargas y dimensionamiento de centros de transformación.

4.1 Densidad de potencia eléctrica instalada.

El cálculo de la densidad de potencia es un indicador de la eficiencia del sistema, ya que evalúa la cantidad de potencia eléctrica necesaria para iluminar un área específica.

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada}}{\text{Área total iluminada}} \quad (26)$$

En el caso del diseño actual es necesario tomar este valor con las directrices que se realizaron en la simulación en DIALux, es decir el área total iluminada será igual a los 150m lineales que nos permite simular DIALux por el ancho de la vía. Para este cálculo no se toma en cuenta la iluminación de parterres ni aceras.

Tabla 41-DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA INSTALADA EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA INSTALADA EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO								
Ítem	Largo [m]	Ancho [m]	Área iluminada [m ²]	Potencia nominal de la luminaria [w]	Cantidad	Potencia instalada [w]	Densidad de potencia máxima [w/m ²]	Densidad de potencia calculada [w/m ²]
Calzada 1 (M4)	150	9.5	1425	80	5	400	≤0.66	0.280
Calzada 1 (parte unilateral) (M4)	150	9.5	1425	80	5	400	≤0.66	0.280
Calzada 2 (M3)	150	13	1950	110	10	1100	≤0.93	0.564
Calzada 2 (parte unilateral) (M3)	150	13	1950	158	5	790	≤0.93	0.405
Calzada 3 (M4)	150	9.60	1440	80	5	400	≤0.66	0.277

4.2 Ubicación de posteria en el plano catastral.

Los puntos de ubicación nos indicarán los lugares precisos donde deberán ser instalados los mástiles de cada luminaria. La variación admisible de interdistancia según la RTE INEN 069 de $\pm 10\%$ de la longitud nominal coordinada en en DIALux se da de acuerdo con las características de la avenida, en algunos casos fue necesario variar esta variable debido a la presencia de obstáculos (paradas de buses e intersecciones) o a su vez variación en el tamaño de cada parterre. En el caso de las curvas ligeras (0° - 30°) la interdistancia debe ser reducida en $0.9S$ en el trayecto de entrada y salida de la curva ($100m$ para $60 \leq km/h \leq 70$), adicional para cuando ya nos encontramos en la curva esta interdistancia se debe reducir aún más en $0.75S$ donde S representa la interdistancia entre mástiles. De esta manera una variación en $\pm 10\%$ en la interdistancia programada ($30m$) representa $3m \pm$. Para la reducción en curvas hablamos de $27m$ en $0.9S$ y de $22.5m$ en $0.75S$.

Cabe recalcar que el proyecto se dividirá en dos etapas, para efectos de diseño se considera las dos etapas en un solo plano, más aún para determinación de presupuestos se trabajará por separado cada una de estas. De igual manera es importante mencionar que eléctricamente no habrá conexión alguna entre la etapa uno y la etapa dos, con la finalidad de que se puedan ejecutar de forma totalmente independiente.

- Etapa uno: Puente Lumbaqui a Av. De los Cofanes y Call. Santa Cruz
- Etapa dos: Av. De los Cofanes y Call. Santa Cruz a Vía Quito y Call. 01 (Destacamento Policial)

El plano programado de ubicación de posteria está adjuntado en Anexos en las páginas 100 y 101.

4.3 Estudio de demanda.

El estudio de demanda o carga determina valores de corriente, potencia y factor de potencia (considerando THD), caída de tensión del sistema y con estos valores calculados podemos dimensionar protecciones, puesta a tierra, diámetro y tipo de conductores, potencia aparente del transformador y acometida, así como otros valores tales como nivel de aislamiento de elementos y materiales, ampacidad de conectores y derivaciones.

4.3.1 Factor de potencia.

El factor de potencia como tal, en nuestro diseño incluye la influencia del THD, más no considera únicamente el $\cos(\phi)$. Mismo fenómeno producido por el tipo de carga electrónica que representan las luminarias LED, sección ya explicada en “2.6.2.1 Contenido armónico y factor de potencia con la inserción de cargas no lineales”.

Tabla 42-DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y POTENCIA APARENTE CONSIDERANDO LA POTENCIA DE DEFORMACIÓN

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y POTENCIA APARENTE CONSIDERANDO LA POTENCIA DE DEFORMACIÓN						
Factor de potencia para una luminaria		Factor de potencia de placa		THD de placa		Factor de potencia calculado
$fp = \cos \varphi \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{THD_i^2}{100}}}$		0.92		10%		0.9154
Corriente de distorsión armónica		Corriente frecuencia fundamental		THD de placa		Corriente de distorsión armónica calculada
	SL Flex LA P 80W	385mA		10%		38.5mA
$I_{dist} = \frac{THD}{100} \cdot I_1$	SL Flex LA P 110W	528mA		10%		52.8mA
	SL Flex LA P 158W	756mA		10%		75.6mA
Potencia aparente total P 80W	SL Flex LA	Factor de potencia	de	Volta je [V]	Corriente fundamental [A]	Potencia Aparente Calculada [VA]
S	P	0.92		240	385	
$= \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$	Q (i)	0.92		240	385	91.91
	D (i)	0.995		240	38.5	
Potencia aparente total P 110W	SL Flex LA	Factor de potencia	de	Volta je [V]	Corriente fundamental [A]	Potencia Aparente Calculada [VA]
S	P	0.92		240	528	
$= \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$	Q (i)	0.92		240	528	126.05
	D (i)	0.995		240	52.8	
Potencia aparente total P 158W	SL Flex LA	Factor de potencia	de	Volta je [V]	Corriente fundamental [A]	Potencia Aparente Calculada [VA]
S	P	0.92		240	756	
$= \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$	Q (i)	0.92		240	756	180.48
	D (i)	0.995		240	75.6	

La importancia de considerar los armónicos en el diseño es que nos ayuda a dimensionar de manera más eficiente el tamaño de conductores, barrajes, protecciones y elementos en general del sistema.

4.3.2 Dimensionamiento de transformadores.

Primero realizamos el diseño eléctrico en el plano catastral, con el fin de determinar cargabilidad de los circuitos y valores de caída de tensión, los planos están en Anexos, desde la página 102-103. Para este apartado vamos a considerar el factor de potencia

con inserción armónica, de esta manera dimensionamos los transformadores a ser utilizados.

Tabla 43-DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR 1

DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR 1		FFUn	CIR	FSn	DMU
REGLON	DESCRIPCIÓN	CANT	S(VA)	CI(VA)	(%) (VA) (%) (VA)
1	SL Flex LA P 80W	20	91.91	1838.2	100 1838.2 100 1838.2
2	SL Flex LA P 110W	20	126.05	2521	100 2521 100 2521
TOTALES					4359.2
Factor de demanda FDM	=	1.00			
DMU (kVA)	=	4.36	Demanda máxima unitaria		
N	=	1	Número de abonados comerciales e industriales		
FD	=	1	Factor de diversidad (en función de N)		
DPT (kVA)	=	0.157	Demanda de pérdidas técnicas resistivas (3.5%)		
DD (kVA)	=	4.517	Demanda de diseño en las bornas del secundario del transformador		

Para un transformador de 5kVA el porcentaje de cargabilidad será del 90.26%, considerando que las cargas son fijas y que solo aumentan en 200W en temporada de navidad por inserción de luces decorativas.

Tabla 44-DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR 2

DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR 2		FFUn	CIR	FSn	DMU
REGLON	DESCRIPCIÓN	CANT	S(VA)	CI(VA)	(%) (VA) (%) (VA)
1	SL Flex LA P 80W	23	91.91	2113.93	100 2113.93 100 2113.93
2	SL Flex LA P 110W	23	126.05	2899.15	100 2899.15 100 2899.15
TOTALES					5013.08
Factor de demanda FDM	=	1.00			
DMU (kVA)	=	5.013	Demanda máxima unitaria		
N	=	1	Número de abonados comerciales e industriales		
FD	=	1	Factor de diversidad (en función de N)		
DPT (kVA)	=	0.175	Demanda de pérdidas técnicas resistivas (3.5%)		
DD (kVA)	=	5.188	Demanda de diseño en las bornas del secundario del transformador		

Para este caso se selecciona un transformador con capacidad de 10kVA, su porcentaje de cargabilidad será del 51.88%, el motivo de la selección depende de los valores comerciales que tenemos en este tipo de máquinas en el Ecuador.

Tabla 45-DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR 3 (Etapa 2)

DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR 3 (Etapa 2)									
REGLON	DESCRIPCIÓN	CANT	S(VA)	CI(VA)	FFUn (%)	CIR (VA)	FSn (%)	DMU (VA)	
1	SL Flex LA P 80W	29	91.91	2665.39	100	2665.39	100	2665.39	
2	SL Flex LA P 110W	21	126.05	2647.05	100	2647.05	100	2647.05	
3	SL Flex LA P 158W	8	180.48	1443.84	100	1443.84	100	1443.84	
TOTALES								6756.28	
Factor de demanda FDM	=	1.00							
DMU (kVA)	=	6.756							Demanda máxima unitaria
N	=	1							Número de abonados comerciales e industriales
FD	=	1							Factor de diversidad (en función de N)
DPT (kVA)	=	0.236							Demanda de pérdidas técnicas resistivas (3.5%)
DD (kVA)	=	6.992							Demanda de diseño en las bornas del secundario del transformador

Para este caso se selecciona un transformador con capacidad de 10kVA, su porcentaje de cargabilidad será del 70%. A diferencia de los otros circuitos, en este tenemos una sola acometida para ambos lados de la calzada, debido a que todavía está en etapa de proyección futura (etapa 2), lo que hace que resulte factible ubicar un solo equipo de transformación en el diseño preliminar. Las características generales de nuestros transformadores son las siguientes:

- Vp: 13.8GRD Y/ 7970 kV BIL: 100kV
- Vs: 240/120 BIL: 30kV
- Frecuencia: 60Hz
- CSP (autoprotegido)
- Aéreo
- Tipo de refrigeración: ONAN

4.3.2 Dimensionamiento de protecciones en el transformador y acometida.

Si bien el equipo es autoprotegido, necesitamos dimensionar el fusible tipo K que va en el seccionamiento entre la línea de MV y el transformador, así como también los fusibles NH que irán desde la salida del secundario del transformador a los tableros de distribución. Estos valores ya están tabulados según la capacidad del transformador.

Tabla 46-Fusibles de protección en MV y BV-Transformador 1

Fusibles de protección en MV y BV-Transformador 1			
Voltaje [V]	Tipo	In [A]	Fusible seleccionado
13.8kV	K	2	2K
220V	NH	20.83	NH25
Fusibles de protección en MV y BV-Transformador 2			
13.8kV	K	2	2K
220V	NH	41.66	NH35
Fusibles de protección en MV y BV-Transformador 2			
13.8kV	K	2	2K
220V	NH	41.66	NH35

4.4 Dimensionamiento de conductores en acometidas principales.

Dimensionamos el calibre del conductor, en función de la potencia aparente de demanda de diseño y de la distancia desde el secundario del transformador al tablero de distribución principal. Para ajustar mejor el calibre del conductor lo dimensionaremos en un valor del 10% adicional a la potencia de demanda de diseño. El aislamiento lo seleccionamos en función del voltaje y del entorno de trabajo del cable.

Para este cálculo tomamos los datos tabulados de la EEQSA en la “Norma para Diseño de Sistemas de Distribución-Parte A”, que se basa en los kVA necesarios para producir un 1% de caída de voltaje en un metro lineal de cable. Este dato varía según el calibre del cable, así pues, mientras más diámetro posea el conductor, mayores serán los kVA soportados y menor será la caída de tensión.

Tabla 47-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LAS ACOMÉTIDAS PRINCIPALES

COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LAS ACOMÉTIDAS PRINCIPALES							
Tipo de instalación	Longitud [m]	Demanda [kVA]	Calibre [AWG]	kVA-m Conductor [CU]	kVA-m Demanda de Diseño	$\Delta V\%$	
Subterráneo-Acometida 1	50.6	4.96	2	429	250.98	0.584	
Subterráneo-Acometida 2	63.0	5.71	2	429	359.73	0.838	
Subterráneo-Acometida 3	25.0	7.70	2	429	192.5	0.449	

El máximo valor de caída de voltaje admitido por la “NEC-Instalaciones Electromecánicas” es del 3% en tableros principales, por lo tanto, la selección del conductor 2AWG está dentro del rango admisible con amplio valor, el voltaje en los barrajes de distribución principal será el óptimo para los circuitos ramales.

En la selección del cable según su aislamiento se designa el cable TTU de CU. Sus características principales erradican en:

- 0.6kV de aislamiento (PE-Polietileno)
- Capa de PVC directa en el conductor
- Operación en $T \leq 75^{\circ}\text{C}$
- Opción superflex desde 19hilos de trenzado
- Resistente a la humedad
- Soterramiento directo (sin canalización)

4.5 Dimensionamiento de conductores en circuitos ramales troncales.

Los denominados “circuitos ramales troncales” son los mismos que van desde el tablero principal y reparten energía a cada luminaria en los postes. El nivel de cargabilidad de estos cables es menor al de la acometida principal, pero el recorrido de estos es mucho mayor que el recorrido de los cables de acometida, por ello el dimensionamiento del conductor debe garantizar una baja caída de tensión en el punto final de conexión.

Para poder realizar el computo de caída de tensión en cada vano o interdistancia, usaremos el mismo principio de calculo que en el de las acometidas principales, con la diferencia que el nivel de caída de tensión será acumulativo desde el poste 1 al poste n. La “NEC-Instalaciones Electromecánicas” nos dice que en el punto más desfavorable de la instalación la caída de tensión no puede ser mayor al 5% del voltaje en el punto de alimentación, que en nuestro caso sería 228V para un voltaje de alimentación de 240V, nivel de voltaje al cual los equipos de iluminación operan de manera normal considerando el rango de operación de placa (220-240V).

Tabla 48-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 1-TABLERO 1

COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 1-TABLERO 1							
Punto	Longitud [m]	Demanda [kVA]	Calibre [AWG]	kVA-m Conductor [CU]	kVA-m Demanda de Diseño	ΔV% Parcial	ΔV% Acumulada
0-1	26.04	0.2180	6	215	5.6757	0.0264	0.0264
1-2	27.07	0.2180	6	215	5.9002	0.0274	0.0538
2-3	27.05	0.2180	6	215	5.8958	0.0274	0.0813
3-4	28.05	0.2180	6	215	6.1138	0.0284	0.1097
4-5	30.04	0.2180	6	215	6.5475	0.0305	0.1402
5-6	34.00	0.2180	6	215	7.4106	0.0345	0.1746
6-7	30.10	0.2180	6	215	6.5606	0.0305	0.2051
7-8	33.04	0.2180	6	215	7.2014	0.0335	0.2386
8-9	30.09	0.2180	6	215	6.5584	0.0305	0.2691
9-10	28.06	0.2180	6	215	6.1160	0.0284	0.2976
10-11	30.00	0.2180	6	215	6.5388	0.0304	0.3280
11-12	30.07	0.2180	6	215	6.5541	0.0305	0.3585
12-13	30.10	0.2180	6	215	6.5606	0.0305	0.3890

Para la tabla actual el ramal 1 del tablero 1 posee una longitud total de 383.71m, con una carga de 2.8335 kVA, el valor de caída de tensión en el punto final del ramal es de 0.3890% del voltaje nominal.

Tabla 49-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 2-TABLERO 1

COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 2-TABLERO 1							
Punto	Longitud [m]	Demanda [kVA]	Calibre [AWG]	kVA-m Conductor [CU]	kVA-m Demanda de Diseño	ΔV% Parcial	ΔV% Acumulada
0-1	30.04	0.2180	6	215	6.5475	0.0305	0.0305
1-2	27.25	0.2180	6	215	5.9394	0.0276	0.0581
2-3	32.00	0.2180	6	215	6.9747	0.0324	0.0905
3-4	30.03	0.2180	6	215	6.5453	0.0304	0.1210
4-5	30.05	0.2180	6	215	6.5497	0.0305	0.1514
5-6	30.20	0.2180	6	215	6.5824	0.0306	0.1820

Para la tabla actual el ramal 2 del tablero 1 posee una longitud total de 179.57m, con una carga de 1.3078 kVA, el valor de caída de tensión en el punto final del ramal es de 0.1820% del voltaje nominal.

Tabla 50-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 1-TABLERO 2

COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 1-TABLERO 2							
Punto	Longitud [m]	Demanda [kVA]	Calibre [AWG]	kVA-m Conductor [CU]	kVA-m Demanda de Diseño	ΔV% Parcial	ΔV% Acumulada
0-1	27.00	0.2180	6	215	5.8849	0.0274	0.0274
1-2	27.02	0.2180	6	215	5.8893	0.0274	0.0548
2-3	27.05	0.2180	6	215	5.8958	0.0274	0.0822
3-4	28.14	0.2180	6	215	6.1334	0.0285	0.1107
4-5	30.04	0.2180	6	215	6.5475	0.0305	0.1412
5-6	29.11	0.2180	6	215	6.3448	0.0295	0.1707
6-7	35.00	0.2180	6	215	7.6286	0.0355	0.2062
7-8	33.04	0.2180	6	215	7.2014	0.0335	0.2397
8-9	30.09	0.2180	6	215	6.5584	0.0305	0.2702
9-10	28.06	0.2180	6	215	6.1160	0.0284	0.2986
10-11	27.05	0.2180	6	215	5.8958	0.0274	0.3260
11-12	35.00	0.2180	6	215	7.6286	0.0355	0.3615
12-13	30.10	0.2180	6	215	6.5606	0.0305	0.3920

Para la tabla actual el ramal 1 del tablero 2 posee una longitud total de 386.70m, con una carga de 2.8335 kVA, el valor de caída de tensión en el punto final del ramal es de 0.3920% del voltaje nominal.

Tabla 51-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 2-TABLERO 2

COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 2-TABLERO 2							
Punto	Longitud [m]	Demanda [kVA]	Calibre [AWG]	kVA-m Conductor [CU]	kVA-m Demanda de Diseño	ΔV% Parcial	ΔV% Acumulada
0-1	34.00	0.2180	6	215	7.4106	0.0345	0.0345
1-2	34.00	0.2180	6	215	7.4106	0.0345	0.0689
2-3	30.00	0.2180	6	215	6.5388	0.0304	0.0993
3-4	30.04	0.2180	6	215	6.5475	0.0305	0.1298
4-5	30.01	0.2180	6	215	6.5410	0.0304	0.1602
5-6	30.04	0.2180	6	215	6.5475	0.0305	0.1907
6-7	32.00	0.2180	6	215	6.9747	0.0324	0.2231
7-8	27.00	0.2180	6	215	5.8849	0.0274	0.2505
8-9	27.00	0.2180	6	215	5.8849	0.0274	0.2779

Para la tabla actual el ramal 2 del tablero 2 posee una longitud total de 274.09m, con una carga de 1.9616 kVA, el valor de caída de tensión en el punto final del ramal es de 0.2779% del voltaje nominal.

Tabla 52-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 1-TABLERO 3

COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 1-TABLERO 3							
Punto	Longitud [m]	Demanda [kVA]	Calibre [AWG]	kVA-m Conductor [CU]	kVA-m Demanda de Diseño	ΔV% Parcial	ΔV% Acumulada
0-1	21.24	0.2180	6	215	4.6295	0.0215	0.0215
1-2	27.05	0.2180	6	215	5.8958	0.0274	0.0490
2-3	27.04	0.2180	6	215	5.8936	0.0274	0.0764
3-4	25.00	0.2180	6	215	5.4490	0.0253	0.1017
4-5	20.00	0.2180	6	215	4.3592	0.0203	0.1220
5-6	22.72	0.2180	6	215	4.9521	0.0230	0.1450

Para la tabla actual el ramal 1 del tablero 3 posee una longitud total de 143.05m, con una carga de 1.3078 kVA, el valor de caída de tensión en el punto final del ramal es de 0.1450% del voltaje nominal.

COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 2-TABLERO 3							
Punto	Longitud [m]	Demanda [kVA]	Calibre [AWG]	kVA-m Conductor [CU]	kVA-m Demanda de Diseño	ΔV% Parcial	ΔV% Acumulada
0-1	29.00	0.2180	6	215	6.3208	0.0294	0.0294
1-2	72.07	0.6540	6	215	47.1338	0.2192	0.2486
2-3	27.07	0.2180	6	215	5.9002	0.0274	0.2761
3-4	27.05	0.2180	6	215	5.8958	0.0274	0.3035
4-5	27.33	0.2180	6	215	5.9568	0.0277	0.3312
5-6	23.00	0.2180	6	215	5.0131	0.0233	0.3545
6-7	23.00	0.2180	6	215	5.0131	0.0233	0.3778
7-8	27.05	0.2180	6	215	5.8958	0.0274	0.4053
8-9	27.06	0.2180	6	215	5.8980	0.0274	0.4327
9-10	27.09	0.2180	6	215	5.9045	0.0275	0.4601

Para la tabla actual el ramal 2 del tablero 3 posee una longitud total de 309.72m, con una carga de 2.6156 kVA, el valor de caída de tensión en el punto final del ramal es de 0.4601% del voltaje nominal.

Tabla 53-COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 3-TABLERO 3

COMPUTO DE CAÍDA DE TENSIÓN RAMAL 3-TABLERO 3							
Punto	Longitud [m]	Demanda [kVA]	Calibre [AWG]	kVA-m Conductor [CU]	kVA-m Demanda de Diseño	$\Delta V\%$ Parcial	$\Delta V\%$ Acumulada
0-1	32.60	0.2180	6	215	7.1055	0.0330	0.0330
1-2	26.00	0.2180	6	215	5.6670	0.0264	0.0594
2-3	27.01	0.2180	6	215	5.6670	0.0264	0.0858
3-4	30.10	0.2180	6	215	5.8871	0.0274	0.1131
4-5	30.05	0.2180	6	215	6.5606	0.0305	0.1437
5-6	30.22	0.2180	6	215	6.5497	0.0305	0.1741
6-7	30.12	0.2180	6	215	6.5868	0.0306	0.2048
7-8	30.02	0.2180	6	215	6.5432	0.0304	0.2352
8-9	30.07	0.2180	6	215	6.5541	0.0305	0.2657
9-10	30.06	0.2180	6	215	6.5519	0.0305	0.2962
10-11	30.21	0.2180	6	215	6.5846	0.0306	0.3268

Para la tabla actual el ramal 3 del tablero 3 posee una longitud total de 326.46m, con una carga de 2.3976 kVA, el valor de caída de tensión en el punto final del ramal es de 0.4601% del voltaje nominal. Para todos los circuitos ramales troncales el calibre de conductor será el 6AWG tipo TTU, por las características antes descritas.

4.6 Dimensionamiento de conductores en ramales secundarios

Los conductores que llevan la energía del circuito ramal troncal a la luminaria los denominamos “ramales secundarios”, por lo general estos se encuentran en el rango de 14-10Awg en dependencia de la carga. La caída de tensión en estos es despreciable dado la corta longitud y su único propósito de conectar eléctricamente las luminarias al sistema. Los dimensionamos en función de la suma algebraica de la corriente a frecuencia fundamental con la corriente de distorsión armónica, de estos valores podemos deducir mediante el uso de tablas generales de fabricantes qué conductor es el más óptimo a ser utilizado en el sistema.

Tabla 54-AMPACIDAD EN CABLES FLEXIBLES THHN/THWN

AMPACIDAD EN CABLES FLEXIBLES THHN/THWN			
Ítem	Calibre	Ampacidad	Aislamiento
1	10	40	PVC--THHN
2	12	30	PVC-THHN
3	14	25	PVC-THHN
Corriente de carga por grupo de iluminación SL FLEX 110W+SL FLEX 80W [A]:		1.0004	
Corriente de carga por grupo de iluminación SL FLEX 158W+SL FLEX 80W [A]:		1.2551	

Comparando la relación entre la corriente y la ampacidad de los conductores mostrados en la tabla, nos damos cuenta de que los cables en cualquiera de los tres calibres cumplen con la capacidad demandada por los equipos de iluminación con amplio margen. Por cuestiones de cumplimiento técnico y ahorro económico se selecciona el calibre 14AWG, que es el calibre mínimo sugerido por normativa.

4.7 TDP's y protección de circuitos ramales troncales.

Para la elaboración del tablero vamos a dimensionar primeramente las protecciones y a seleccionar las mismas en función de sus cualidades técnicas. De la misma manera se dimensiona el tamaño de los contactores, mismos que no cumplen una función de automatización directamente sobre el sistema, dado que las luminarias son autocontroladas, más sirven para ofrecer la opción de interrupción de la corriente desde la compuerta del tablero. Entre otros indicadores dentro del mismo se trabaja con un TVSS que nos permita verificar su estado desde la compuerta del tablero con el uso de luces piloto y un controlador de fase que protege al circuito de sobrevoltajes y bajos voltajes.

El circuito de control y fuerza correspondiente a cada tablero de distribución principal está disponible en Anexos en las páginas 103-105.

4.7.1 Protecciones principales en TDP's.

En primera instancia dimensionamos la protección general del sistema en cada TDP (Tablero de distribución principal), seguido las protecciones para los circuitos ramales troncales. El criterio de selección lo hacemos en base a la corriente de carga, más no a la capacidad del conductor, consideramos estado de sobrecarga a una corriente superior en un 20% de la corriente nominal calculada.

Tabla 55-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN BARRAJE DEL TDP 1

CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN BARRAJE DEL TDP 1					
Ítem	Cantidad	de	Corriente	total	In calculada [A]
	Luminarias		(Idist+I1)	por	
			luminaria [mA]		
Corriente de carga SL FLEX 80W	20		423.5		8.47
Corriente de carga SL FLEX 110W	20		580.8		11.62
TOTAL:					20.10

Tabla 56-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN BARRAJE DEL TDP 2

CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN BARRAJE DEL TDP 2					
Ítem	Cantidad	de	Corriente	total	In calculada [A]
	Luminarias		(Idist+I1)	por	
			luminaria [mA]		
Corriente de carga SL FLEX 80W	23		423.5		9.74
Corriente de carga SL FLEX 110W	23		580.8		13.36
TOTAL:					23.10

Tabla 57-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN BARRAJE DEL TDP 3

CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN BARRAJE DEL TDP 3					
Ítem	Cantidad	de	Corriente	total	In calculada [A]
	Luminarias		(Idist+I1)	por	
			luminaria [mA]		
Corriente de carga SL FLEX 80W	29		423.5		12.28
Corriente de carga SL FLEX 110W	21		580.8		12.20
Corriente de carga SL FLEX 158W	8		831.6		6.65
TOTAL:					31.13

Para la categoría de 2P no son comerciales los breakers con modificación de curvas de disparo, por ello la selección será de acuerdo con la sobredimensión del equipo de protección en un 25% de la In calculada, que será el valor de sobrecarga admisible.

Así entonces para:

- $In \cdot 1.25$ TDP 1= 25.13 [A]
- $In \cdot 1.25$ TDP 2= 28.88 [A]
- $In \cdot 1.25$ TDP 3= 38.91 [A]

Según los valores comerciales de amperaje en breakers de caja moldeada en 2polos tenemos:

- 20, 25, 32, 40, 50, 60, ..., 120 [A]

Se escogerá el breaker más aproximado al valor de sobrecarga, sin sobredimensionar en gran medida el mismo. Así para:

- TDP 1: MCCB Fijo 2P 690VAC 25Amp
- TDP 2: MCCB Fijo 2P 690VAC 25Amp
- TDP 3: MCCB Fijo 2P 690VAC 40Amp

4.7.2 Protecciones en ramales troncales.

Para el dimensionamiento de las protecciones en los circuitos ramales troncales, tanto para el TD1, TD2 y TD3, se van a emplear breakers con curvas de disparo tipo B (2.6In-Umbral magnético de 5In) que idealmente se suelen utilizar para protección en circuitos de largas distancias, por lo tanto, en esta sección el ajuste de sobrecarga será del 25% sobre la In. Esperando que en caso de algún desperfecto en la instalación se puedan salvaguardar los equipos.

Tabla 58-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 1 Y RAMAL 2 TDP 1

CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 1 TDP 1					
Ítem	Cantidad	de	Corriente	total	I calculada [A]
	Luminarias		(Idist+I1)	por	
			luminaria [mA]		
Corriente de carga SL FLEX 80W	13		423.5		5.51
Corriente de carga SL FLEX 110W	13		580.8		7.55
TOTAL:					13.06
CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 2 TDP 1					
Ítem	Cantidad	de	Corriente	total	I calculada [A]
	Luminarias		(Idist+I1)	por	
			luminaria [mA]		
Corriente de carga SL FLEX 80W	7		423.5		2.96
Corriente de carga SL FLEX 110W	7		580.8		4.07
TOTAL:					7.03

La corriente de sobrecarga estimada para los circuitos ramales del TDP1 considerando un 10% de sobredimensionamiento:

- $In*1.25$ TDP1 Ramal 1= 16.33 [A]
- $In*1.25$ TDP1 Ramal 2= 8.79 [A]

Por lo tanto, la protección correspondiente a cada ramal es:

- TDP1 Ramal 1= 16 [A]
- TDP1 Ramal 2= 10 [A]

Tabla 59-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 1 Y RAMAL 2 TDP 2

CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 1 TDP 2					
Ítem	Cantidad	de	Corriente	total	I calculada [A]
	Luminarias		(Idist+I1)	por	
			luminaria [mA]		
Corriente de carga SL FLEX 80W	13		423.5		5.51
Corriente de carga SL FLEX 110W	13		580.8		7.55
TOTAL:					13.06
CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 2 TDP 2					
Ítem	Cantidad	de	Corriente	total	I calculada [A]
	Luminarias		(Idist+I1)	por	
			luminaria [mA]		
Corriente de carga SL FLEX 80W	10		423.5		4.23
Corriente de carga SL FLEX 110W	10		580.8		5.81
TOTAL:					10.04

La corriente de sobrecarga estimada para los circuitos ramales del TDP2 considerando un 10% de sobredimensionamiento:

- $In*1.25$ TDP2 Ramal 1= 16.33 [A]
- $In*1.25$ TDP2 Ramal 2= 12.55 [A]

Por lo tanto, la protección correspondiente a cada ramal es:

- TDP2 Ramal 1= 16 [A]
- TDP2 Ramal 2= 12 [A]

Tabla 60-CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL, RAMAL 2 Y RAMAL 3 TDP 3

CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 1 TDP 3					
Ítem	Cantidad	de	Corriente	total	I calculada [A]
	Luminarias		(Idist+I1)	por	
			luminaria [mA]		
Corriente de carga SL FLEX 80W	6		423.5		2.54
Corriente de carga SL FLEX 110W	6		580.8		3.48
TOTAL:					6.02
CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 2 TDP 3					
Ítem	Cantidad	de	Corriente total		I calculada [A]
	Luminarias		(Idist+I1) por		
			luminaria [mA]		
Corriente de carga SL FLEX 80W	12		423.5		5.08
Corriente de carga SL FLEX 110W	12		580.8		6.97
TOTAL:					12.05
CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA EN RAMAL 3 TDP 3					
Ítem	Cantidad	de	Corriente	total	I calculada [A]
	Luminarias		(Idist+I1)	por	
			luminaria [mA]		
Corriente de carga SL FLEX 80W	11		423.5		4.66
Corriente de carga SL FLEX 110W	3		580.8		1.74
Corriente de carga SL FLEX 158W	8		831.6		6.65
TOTAL:					13.05

La corriente de sobrecarga estimada para los circuitos ramales del TDP2 considerando un 10% de sobredimensionamiento:

- $I_n \cdot 1.25$ TDP3 Ramal 1= 7.53 [A]
- $I_n \cdot 1.25$ TDP3 Ramal 2= 15.06 [A]
- $I_n \cdot 1.25$ TDP3 Ramal 3= 16.31 [A]

Por lo tanto, la protección correspondiente a cada ramal es:

- TDP3 Ramal 1= 8 [A]
- TDP3 Ramal 2= 15 [A]
- TDP3 Ramal 3= 16 [A]

4.8 Sistema de puesta a tierra.

El sistema de puesta a tierra en nuestro diseño va ubicado físicamente cerca a cada TDP, para poder obtener el valor de I_{cc} es necesario emplear la siguiente formula.

$$I_{cc} = \frac{S_n}{V_n \times Imp} \quad (27)$$

Donde:

I_{cc} : Corriente de cortocircuito

S_n : Potencia aparente del sistema

V_n : Voltaje nominal del sistema

Imp : Impedancia del sistema

La potencia aparente para cada sistema será la misma que ya se computo para el dimensionamiento de los transformadores, con un voltaje de operación de 240 volts. La impedancia de cada equipo se obtendrá en función de la potencia aparente calculada por cada equipo, misma en la que se incluyó la influencia de la potencia de distorsión. Asumimos un valor resistivo en la impedancia de cada equipo de iluminación.

Tabla 61-CALCULO DE LA IMPEDANCIA POR CADA EQUIPO DE ILUMINACIÓN

CALCULO DE LA IMPEDANCIA POR CADA EQUIPO DE ILUMINACIÓN						
Ítem	Fórmula de calculo	Modelo	Potencia aparente [VA]	Voltaje de operación [V]	Impedancia calculada [Ohm]	
1		SL Flex LA P 80W	91.91	240	626.70	
2	$R = \frac{Vn^2}{S}$	SL Flex LA P 110W	126.05	240	456.96	
3		SL Flex LA P 158W	180.48	240	319.14	

Para poder emplear la fórmula es necesario que los datos de impedancia sean llevados a un valor pu, para ellos es necesario obtener una impedancia base. Para ello pasamos directamente al cálculo de la I_{cc} por cada TDP.

Para el cálculo de la impedancia base asumiremos un voltaje de **240V** y la **potencia aparente dimensionada para el transformador de cada TDP**. La obtención de la **impedancia del sistema se la hace en base al número de cargas en paralelo que tenemos conectadas a cada sistema**.

Tabla 62-Obtención de la corriente de cortocircuito para en TDP1

Obtención de la corriente de cortocircuito para en TDP1						
Ítem	Potencia aparente [kVA]	Voltaje [V]	Impedancia equivalente [kOhm]	Impedancia base [Ohm]	Impedancia [%pu]	Icc [kA]
1	4.513	240	5.285	11.52	458.76	4.10

Tabla 63-Obtención de la corriente de cortocircuito para en TDP2

Obtención de la corriente de cortocircuito para en TDP2						
Ítem	Potencia aparente [kVA]	Voltaje [V]	Impedancia equivalente [kOhm]	Impedancia base [Ohm]	Impedancia [%pu]	Icc [kA]
1	5.188	240	6.08	5.76	1055.55	2.05

Tabla 64-Obtención de la corriente de cortocircuito para en TDP3

Obtención de la corriente de cortocircuito para en TDP3						
Ítem	Potencia aparente [kVA]	Voltaje [V]	Impedancia equivalente [kOhm]	Impedancia base [Ohm]	Impedancia [%pu]	Icc [kA]
1	6.992	240	14684.05	5.76	2549.31	1.14

Por la impedancia propia de cada sistema la Icc (corriente de corto circuito) resulta relativamente baja, tal es el caso para el TDP3. Para cualquiera de los tres casos, la malla tipo será simulada en ETAP y será la misma para cada caso en particular. La misma está conformada de la siguiente manera:

- Disposición cuadrada 2x2
- 4 varillas Copperweld una en cada esquina
- 8m de cable 4AWG (mínimo permitido por normativa)

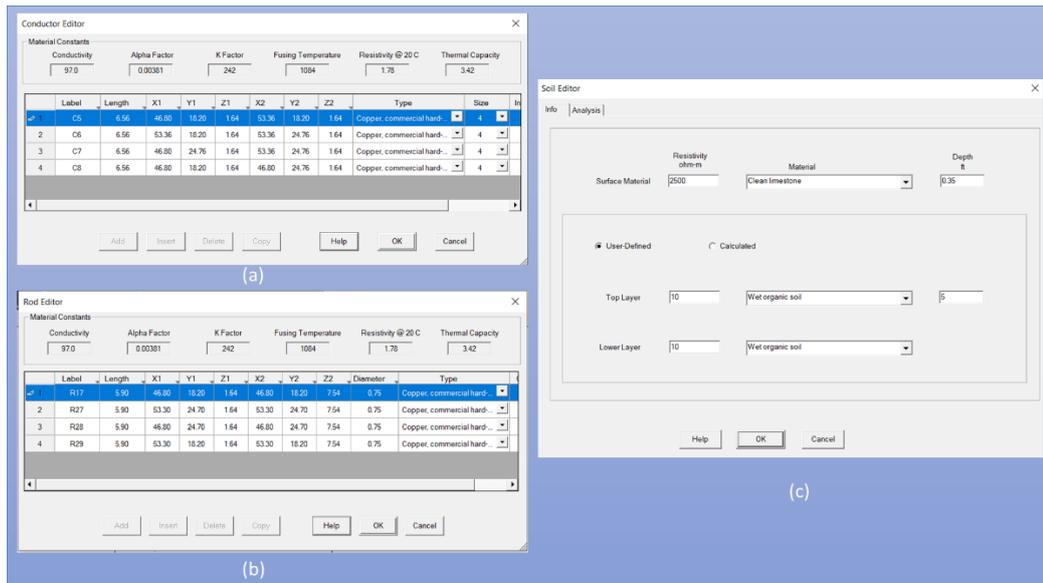


Figura 37-(a) Configuración de conductor de CU (b) Configuración de varillas Copperweld (c) Configuración de tipo de suelo. Fuente: [autor]

La configuración del suelo al nivel de 10 Ohm de resistencia se lo hace debido a la alta presencia de humedad y minerales en el suelo del parterre donde se instalarán las mallas. Adicional se usará mejoradores de suelo con el fin de garantizar una resistividad inferior a 10 Ohm por 4 años.

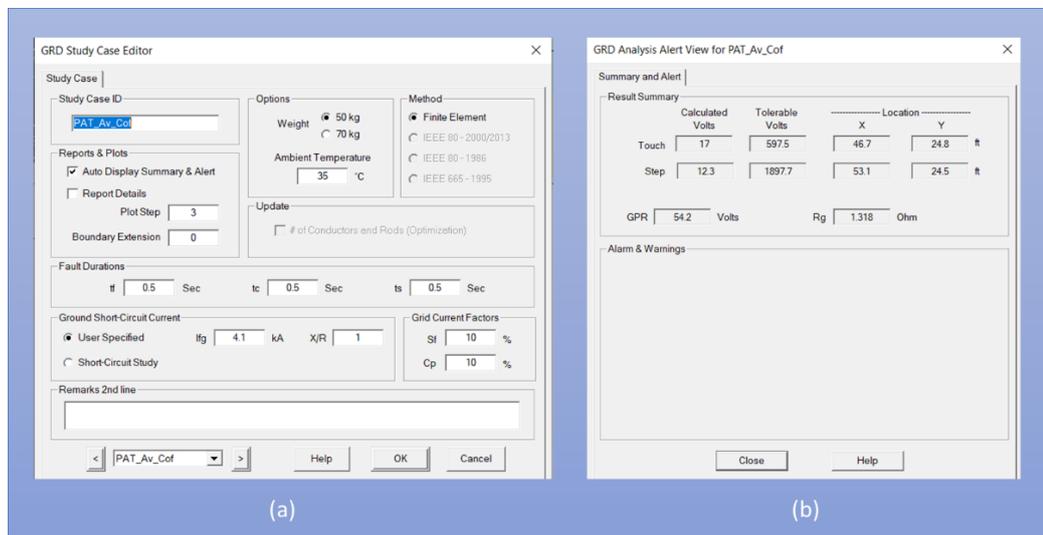


Figura 38-(a) Configuración de parámetros de simulación $I_{cc}=4.10\text{kA}$ (b) Resultados finales de la malla (Dentro de límites admisibles). Fuente: [autor]

Cómo resultado se obtuvo un voltaje de toque de 17V (597.5V tolerable), un voltaje de paso de 12.3V (tolerable=1897.7V) y una resistencia general del sistema de 1.318Ohm.

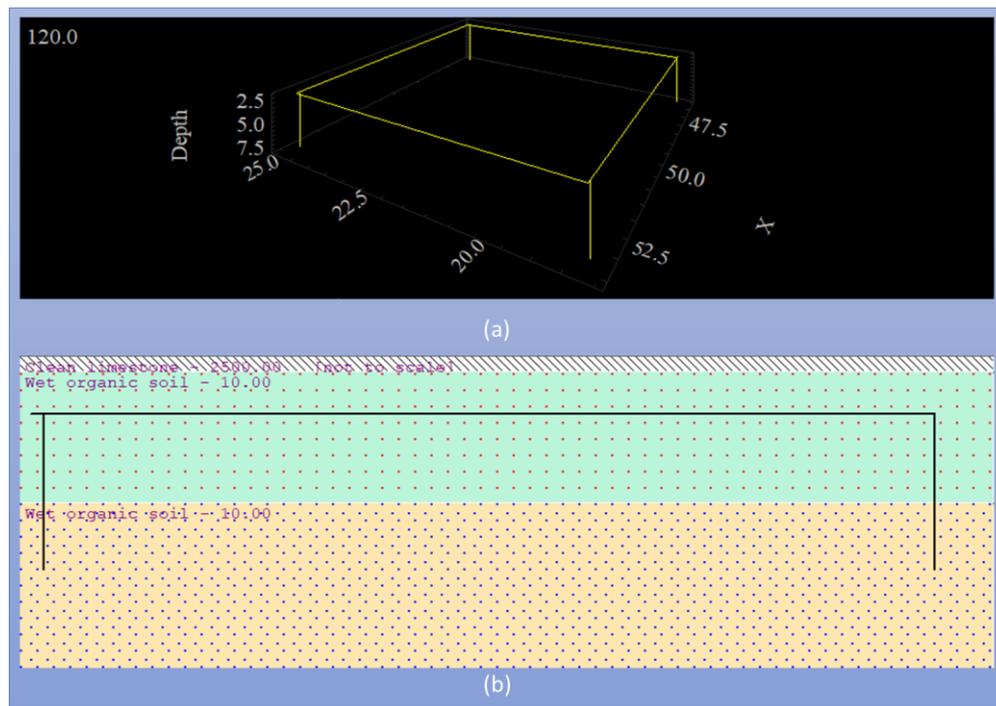


Figura 39-Configuración de la malla en ETAP (a) Vista tridimensional de la malla (b) Corte transversal que nos indica la configuración del suelo y la profundidad de las picas a 0.5m de la superficie. Fuente: [autor]

CAPÍTULO V PRESUPUESTOS

Los presupuestos para el diseño del proyecto están divididos en dos partes de modo que la institución municipal pueda optar por la ejecución de la obra en rubros diferentes, así de esta manera la etapa uno consiste en la etapa que ya se encontraba funcionando y que por ahora está sujeta a remodelación, mientras que la etapa dos es un área limpia que hoy cuenta únicamente con el parterre del lado derecho en sentido Quito-Nueva Loja.

5.1 Presupuesto general Etapa 1.

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS						
No	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global	
OBRAS PRELIMINARES						
01	DESMONTAJE DE TRANSFORMADOR	U	2,00	\$126,00	252,00	
02	DESMONTAJE DE ACOMETIDAS ANTIGUAS	m	154,00	\$2,87	441,98	
03	DESALOJO DE CABLEADO Y CANALIZACIONES ANTIGUAS	m	1470,00	\$1,30	1.911,00	
04	DESALOJO DE INFRAESTRUCTURA ANTIGUAS	U	43,00	\$174,44	7.500,92	
OBRAS CIVILES						
05	CORTE LONGITUDINAL EN HORMIGON ASFALTICO 10-15CM	m	258,00	\$11,04	2.848,32	
06	CORTE LONGITUDINAL EN HORMIGON DE ACERA 7-10CM	m	10,00	\$3,47	34,70	
07	ROTURA DE ASFALTO CON EQUIPO MECÁNICO A=30CM	m2	77,40	\$11,53	892,42	
08	ROTURA Y REPOSICIÓN DE ACERAS DE HORMIGON 7-10CM	m2	1,00	\$19,51	19,51	
09	EXCAVACIÓN EN ZANJA CON EQUIPO MECÁNICO A=30CM H=50CM	m3	38,70	\$24,69	955,50	
10	EXCAVACIÓN MANUAL EN ZANJA A=30CM H=50CM	m3	220,50	\$20,16	4.445,28	
11	CONSTRUCCIÓN DE POZO 90X90X90	U	4,00	\$312,61	1.250,44	
12	CANALIZACION EN TUBO PVC ACOMETIDAS 4"	U	104,00	\$11,79	1.226,16	
13	CANALIZACION EN TUBO PVC RAMALES 75MM	U	1470,00	\$6,35	9.334,50	
14	SUMINISTRO Y MONTAJE DE BASES DE HORMIGON	U	43,00	\$59,29	2.549,47	
15	SUMINISTRO E IZAJE DE POSTE ORNAMENTAL 10M DISPOSICIÓN DOBLE 10M-8M	U	43,00	\$1.201,21	51.652,03	
16	CAMA DE ARENA FINA COMPACTA DE A=0.3, H=0.3M	m3	155,52	\$35,40	5.505,41	
17	REPOSICIÓN DE ASFALTO 0-20CM	m3	11,61	\$535,68	6.219,24	

OBRA ELÉCTRICA						
18	SUMINISTRO INSTALACIÓN SECCIONADOR PORTA- FUSIBLE MONOPOLAR 100A	E DE	U	2,00	\$343,42	\$686,84
19	SUMINISTRO INSTALACIÓN DE TRANS. 1F 13.8KV/220V 5KVA	E	U	1,00	\$1.510,56	\$1.510,56
20	SUMINISTRO INSTALACIÓN DE TRANS. 1F 13.8KV/220V 10KVA	E	U	1,00	\$1.849,23	\$1.849,23
21	SUMINISTRO INSTALACIÓN DE GABETA Y FUSIBLE NH BV	E	U	2,00	\$141,98	\$283,96
22	SUMINISTRO INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA EN TRAF0	E	U	2,00	\$190,75	\$381,50
23	SUMINISTRO INSTALACIÓN ACOMETIDA PRINCIPAL TR1-TDP1 SUBTERRANEA 3X2AWG	E	m	50,00	\$34,66	\$1.733,00
24	SUMINISTRO INSTALACIÓN ACOMETIDA PRINCIPAL TR2-TDP2 SUBTERRANEA 3X2AWG	E	m	54,00	\$34,48	\$1.861,92
25	SUMINISTRO Y MONTAJE DE GABINETE DOBLE PUERTA DE ACERO GALVANIZADO PARA MEDIDOR Y TABLERO	E	U	2,00	\$799,66	\$1.599,32
26	SUMINISTRO INSTALACIÓN DE TABLERO DE CONTROL Y FUERZA1 TDP1	E DE	U	1,00	\$1.130,98	\$1.130,98
27	SUMINISTRO INSTALACIÓN DE TABLERO DE CONTROL Y FUERZA2 TDP2	E DE	U	1,00	\$1.162,54	\$1.162,54
28	SUMINISTRO Y MONTAJE DE SPT	E	U	2,00	\$245,16	\$490,32
29	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE 3X6+1X8AWG	E	m	1470,00	\$13,59	\$19.977,30
30	SUMINISTRO INSTALACIÓN DE LUMINARIA LED 110W	E DE	U	43,00	\$487,79	\$20.974,97
31	SUMINISTRO INSTALACIÓN DE LUMINARIA LED 80W	E DE	U	43,00	\$429,79	\$18.480,97
32	SUMINISTRO INSTALACIÓN DE TOMACORRIENTE 110V EN POSTE	E DE	U	43,00	\$9,25	\$397,75
TOTAL:					\$169.560,04	
SON: CIENTO SESENTA Y NUEVE MIL QUINIENTOS SESENTA DOLARES CON 04/100						

Cabe recalcar que cada rubro posee un análisis de precios unitarios en el cual se evalúa costo de equipos, mano de obra y rendimiento general, costo de materiales y transporte, por lo tanto, los presupuestos son el resultado de un análisis completo de valores.

5.2 Presupuesto general Etapa 2.

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS ETAPA 2					
No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
OBRAS CIVILES					
01	CORTE LONGITUDINAL EN HORMIGON ASFALTICO 10-15CM	m	17,00	\$11,04	\$187,68
02	CORTE LONGITUDINAL EN HORMIGON DE ACERA 7-10CM	m	14,00	\$3,47	\$48,58
03	ROTURA DE ASFALTO CON EQUIPO MECÁNICO A=30CM	m2	5,10	\$11,53	\$58,80
04	ROTURA Y REPOSICIÓN DE ACERAS DE HORMIGON 7-10CM	m2	1,40	\$19,51	\$27,31
05	EXCAVACIÓN EN ZANJA CON EQUIPO MECÁNICO A=30CM H=50CM	m3	2,55	\$24,69	\$62,96
06	EXCAVACIÓN MANUAL EN ZANJA A=30CM H=50CM	m3	124,50	\$20,16	\$2.509,92
07	CONSTRUCCIÓN DE POZO 90X90X90	U	3,00	\$312,61	\$937,83
08	CANALIZACION EN TUBO PVC ACOMETIDAS 4"	m	15,00	\$11,79	\$176,85
09	CANALIZACION EN TUBO PVC RAMALES 75MM	m	836,00	\$6,35	\$5.308,60
10	SUMINISTRO Y MONTAJE DE BASES DE HORMIGON	U	29,00	\$59,29	\$1.719,41
11	SUMINISTRO E IZAJE DE POSTE ORNAMENTAL 10M DISPOSICIÓN DOBLE 10M-8M	U	29,00	\$1.201,21	\$34.835,09
12	CAMA DE ARENA FINA COMPACTA DE A=0.3, H=0.3M	m3	78,03	\$35,40	\$2.762,26
13	REPOSICIÓN DE ASFALTO 0-20CM	m3	1,02	\$535,68	\$546,39

OBRA ELÉCTRICA						
14	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SECCIONADOR PORTA-FUSIBLE MONOPOLAR 100A	U	1,00	\$343,42	\$343,42	
15	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TRANS. 1F 13.8KV/220V 10KVA	U	1,00	\$1.849,23	\$1.849,23	
16	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GABETA Y FUSIBLES TIPO NH BV	U	1,00	\$141,98	\$141,98	
17	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA EN TRAF0	U	1,00	\$190,75	\$190,75	
18	SUMINISTRO E INSTALACIÓN ACOMETIDA PRINCIPAL TR3-TDP3 SUBTERRANEA 3X2AWG	m	22,00	\$34,66	\$762,52	
19	SUMINISTRO Y MONTAJE DE GABINETE DOBLE PUERTA DE ACERO GALVANIZADO PARA MEDIDOR Y TABLERO	U	1,00	\$799,66	\$799,66	
20	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TABLERO DE CONTROL Y FUERZA1 TDP3	U	1,00	\$1.130,98	\$1.130,98	
21	SUMINISTRO Y MONTAJE DE SPT	U	1,00	\$245,16	\$245,16	
22	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE 3X6+1X8AWG	m	836,00	\$13,59	\$11.361,24	
23	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE LUMINARIA LED 110W	U	21,00	\$487,79	\$10.243,59	
24	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE LUMINARIA LED 80W	U	29,00	\$429,79	\$12.463,91	
25	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE LUMINARIA LED 158W	U	8,00	\$495,08	\$3.960,64	
26	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TOMACORRIENTE 110V EN POSTE	U	29,00	\$9,25	\$268,25	
TOTAL:					\$92.943,01	
SON: NOVENTA Y DOS MIL NOVECIENTOS CUARENTA Y TRES DOLARES CON 01/100						

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES

- La determinación de parámetros fotométricos con software, permiten ajustar de mejor manera las características del proyecto, en el caso de nuestro diseño se logró verificar que la ubicación de mástiles a mayor altura mejoraba significativamente los parámetros de uniformidad en las calzadas, mientras que a su vez el ángulo de inclinación del brazo a 15° nos permitía aprovechar con mayor eficiencia la dispersión trazada por la curva fotométrica.
- Para la iluminación de las aceras, limitar la cantidad de luxes en cada una, requirió que se ajuste la altura a 8m de tal forma que con un ángulo de 15° se pudo mejorar la relación de alrededor y mantener un nivel adecuado de iluminancia en todos los trayectos de las vías M4, evitando así también un alto nivel de deslumbramiento.
- La percepción de objetos móviles y estáticos para el chofer y el transeúnte es más eficiente ante equipos de iluminación con un IRC mayor a 70 y la temperatura de luz entre 3000°K y 4000°K , es importante resaltar que tiempo atrás estos se consideraban valores subjetivos en fotometría, sin embargo, son importantes ante la adaptación cromática del ojo humano a nuevos ambientes.
- El resultado del ROI (3 años) demuestra que la recuperación puede llegar a ser evidente en el corto plazo. Los ahorros en costos de mantenimiento tomando en cuenta que la garantía de fabrica son 50 000h de operación y que el costo operativo es relativamente bajo debido a su consumo da paso a ejecutar o aumentar etapas de proyectos de AP con iluminación LED.
- Al quitar la etapa de arranque que tenían las luminarias HPS, se aumenta el tiempo de vida de las instalaciones, las luminarias y equipos involucrados. La mejoría en el factor de potencia es evidente, dado que el contenido armónico apenas distorsiona el fp (fundamental y no fundamental) habiéndose tomado en el peor de los casos un $\text{fp}=0.92$ y un fp de distorsión= 0.99 se obtuvo un fp absoluto de 0.915, a lo cual con un estudio de calidad de la energia se podría verificar la atenuación por inserción de cargas similares en paralelo, haciendo innecesario el uso de filtros de armónicos.
- El uso de los disipadores de trascientes en cada tablero mejoran la posibilidad de que el sistema funcione correctamente al largo plazo, ofrecen una salida al

problema de las constantes tormentas en la zona de instalación, protegiendo las cargas led y sus controladores que suelen ser muy sensibles a los cambios bruscos en los niveles de tensión. Además, cabe recalcar que cada equipo led cuenta con un disipador de traspases de 10kA, creando así una cascada en el nivel de protección.

- El uso de controladores de voltaje permite que el sistema no entre en funcionamiento mientras no exista una estabilidad en el nivel de voltaje de la red de alimentación, es muy útil a la hora de limitar la llegada de energía después de apagones inesperados en la red eléctrica o ante fallas sostenidas por problemas en los transformadores.

CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES

- Existen investigaciones más avanzadas respecto a los sistemas de iluminación LED que plantean la dimerización en los sistemas de alumbrado público, con la finalidad de reducir el consumo de energía en horas de menor tránsito vehicular y menor circulación peatonal. Es un tema que requiere un análisis de calidad de la energía a mayor profundidad, puesto que para realizar esto los controladores deben trabajar a frecuencias variadas.
- La utilización de sistemas de alumbrado público con sistemas fotovoltaicos es una variante de diseño que se puede estudiar a mayor profundidad con la finalidad de determinar el ROI con respecto a los sistemas de alumbrado público LED on grid, verificar la viabilidad de este tipo de proyectos podría incurrir en gran medida en la iluminación de zonas rurales y de difícil acceso.
- Las limitaciones en el software para realizar una simulación a solamente 150m lineales, sin considerar curvas ni obstáculos como vegetación o objetos varios, es una limitante que exige ajustar con mayor precisión las interdistancia entre luminarias, de modo que se garantice los niveles justos de iluminación en las calzadas, para ello es necesario emplear las recomendaciones de normativas internacionales como CIE.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CIE, “MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EXTERIOR,” 2003.
- [2] ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, *Ley orgánica de eficiencia energética*. Quito, Ecuador, Ecuador: www.registroficial.gob.ec, 2019, p. 8.
- [3] CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad), *Estudio y Gestión de la Demanda Eléctrica*, vol. 2. Ecuador: CONELEC, 2013.
- [4] INEN, “PÚBLICO I PARTE : Alumbrado de calles y carreteras II PARTE : Alumbrado de ciertas áreas. ACTUALIZADO,” pp. 1–118, 2012.
- [5] Agencia de Regulación y Control de Energía y de Recursos Naturales No Renovables, *MAPA NORMATIVO E INSTITUCIONALIDAD DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO*. Ecuador, 2021.
- [6] NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN (NEC), “NEC-INSTALACIONES ELÉCTRICAS,” *Minist. Desarro. Urbano y Vivienda*, no. NEC-SB-IE, p. 30, 2018.
- [7] NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN (NEC), *INSTALACIONES ELECTROMECAÓNICAS*. Quito, Ecuador: Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2013.
- [8] Empresa Eléctrica Quito, “Norma para Sistemas de Distribución PARTE A- Guía para Diseño de Redes de Distribución,” *EEQ*, p. 166, 2009.
- [9] MEER, “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES Y EQUIPOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN,” *MEER*, vol. 148, no. Nota 4, pp. 148–162, 2018, [Online]. Available: www.energia.gob.ec.
- [10] MERNNR, *Balance Energético Nacional 2019*, 2019th ed. Quito, Ecuador: Dirección de Análisis y Prospectiva Eléctrica (DAPE) - MERNNR, 2019.
- [11] R. M. Ramli, Y. Z. Arief, and P. D. A. Aziz, “Application of LED technology into public road lighting in Malaysia for replacing the high pressure sodium vapour lighting,” *Proceeding - 2015 Int. Conf. Sustain. Energy Eng. Appl. Sustain. Energy Gt. Dev. ICSEEA 2015*, pp. 76–81, 2016, doi: 10.1109/ICSEEA.2015.7380749.
- [12] A. Djuretic and M. Kostic, “Actual energy savings when replacing high-pressure sodium with LED luminaires in street lighting,” *Energy*, vol. 157, pp.

367–378, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.05.179.

- [13] E. R. Manzano, *Estudio de una metodología para evaluar la calidad del servicio del alumbrado urbano*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2001.
- [14] ETAP, “Factor de mantenimiento de las luminarias led,” 2017. [Online]. Available: etaplighting.com/es.
- [15] IDAE; Comité Español de Iluminación, *Requerimientos Tecnicos Exigibles Para Luminarias Con Tecnología Led De Alumbrado Exterior*. 2011.
- [16] Ministerio de Industria Turismo y Comercio, *REGLAMENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR*, no. RD 1890/2008 Efi.Energ.AlumbradoExt. España, 2008, pp. 45988–46057.
- [17] I. O. M. R. M. Coureaux, “Tendencias en la consideración de la depreciación luminosa de las lámparas empleadas en alumbrado viario,” *SCIELO*, pp. 1–10, 2013, [Online]. Available: scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012013000100003.
- [18] S. Gorgulu and S. Kocabey, “An energy saving potential analysis of lighting retrofit scenarios in outdoor lighting systems: A case study for a university campus,” *J. Clean. Prod.*, vol. 260, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121060.
- [19] S. Yoomak, C. Jettanasen, A. Ngaopitakkul, S. Bunjongjit, and M. Leelajindakrairerk, “Comparative study of lighting quality and power quality for LED and HPS luminaires in a roadway lighting system,” *Energy Build.*, vol. 159, pp. 542–557, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.11.060.
- [20] CIE, “Color Quality of Light Sources Related to Perception and Preference,” *CIE*, no. 66, 2018.
- [21] L. Lipnicky, D. Gasparovsky, and R. Dubnicka, “Influence of the calculation grid density to the selected photometric parameters for road lighting,” *Proc. 2016 IEEE Light. Conf. Visegr. Countries, Lumen V4 2016*, pp. 19–22, 2016, doi: 10.1109/LUMENV.2016.7745555.
- [22] M. Davidovic, L. Djokic, A. Cabarkapa, A. Djuretic, V. Skerovic, and M. Kostic, “Drivers’ Preference for the Color of LED Street Lighting,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 72850–72861, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2920737.
- [23] M. Zalesinska and M. Gorczewska, “Comparative study of lighting quality and energy efficiency for various road lighting situations,” *Proc. 2016 IEEE Light. Conf. Visegr. Countries, Lumen V4 2016*, 2016, doi:

10.1109/LUMENV.2016.7745546.

- [24] V. Gyurov and H. Panchev, “Experimental Research on Light and Energy Parameters of Intelligent Street and Road Lighting Systems,” *2019 11th Electr. Eng. Fac. Conf. BulEF 2019*, vol. 3, no. 2, pp. 2019–2022, 2019, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030760.
- [25] M. Beccali *et al.*, “Energy saving and user satisfaction for a new advanced public lighting system,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 195, pp. 943–957, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.05.070.
- [26] G. McLorn, D. Lavery, D. J. Morrow, and S. McLoone, “Load and harmonic distortion characterization of modern low-energy lighting under applied voltage variation,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 169, no. July 2018, pp. 124–138, 2019, doi: 10.1016/j.epsr.2018.12.029.
- [27] J. A. Suárez, G. F. Di Mauro, D. O. Anaut, and C. A. Agüero, “Cancelación Parcial de Corrientes Armónicas Provocadas por Cargas Residenciales No Lineales,” *Inf. tecnológica*, vol. 16, no. 3, pp. 63–70, 2005, doi: 10.4067/S0718-07642005000300009.
- [28] J. Garrido, A. Moreno-Munoz, A. Gil-de-Castro, V. Pallares-Lopez, and T. Morales-Leal, “Supraharmonics emission from LED lamps: A reduction proposal based on random pulse-width modulation,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 164, no. November 2017, pp. 11–19, 2018, doi: 10.1016/j.epsr.2018.07.032.
- [29] I. del R. Abril, “DISEÑO DE UNA LUMINARIA LED,” Universidad Politécnica de Cataluña, 2017.
- [30] R. Karlicek, C. C. Sun, G. Zissis, and R. Ma, *Handbook of Advanced Lighting Technology*. 2017.
- [31] G. S. Correa Alexander, Kaiser Walter, Rodriguez Yandry, “Estudio de ignitores de pulso(s) superpuesto(s) para el encendido de lámparas de vapor de sodio de alta presión,” *Ing. Energética*, vol. XXXII, 2011, doi: 1815-5901.
- [32] Cooper Crouse-Hinds, “Soluciones en Balastros HID,” 2012. [Online]. Available: www.cooperindustries.com.
- [33] weediid, “Conjunto eléctrico de la luminaria HPS,” www.weediid.com.
- [34] A. McNaught, A. D. · Wilkinson, *Compendio de Terminología Química*, 2ND ed. Cambridge, Reino Unido: IUPAC, 2003.

- [35] ETAP Lighting, “Dossier - Led,” *ETAP NV*, Madrid, pp. 1–17, 2018.
- [36] A. Sá, “Aplicaciones del LED en Diseño de Iluminación,” *MARCOMBO*, vol. 1, p. 444, 2015, doi: 9788426718051.
- [37] Jorge Madriz Garro; Adrián Navarro Orozco; Natalia Castro Tames; Eckart Holst Sanjuan; Juan Calderón Artavia; Luis Ariel Gutierrez, “Guía Técnica de Iluminación,” *Sylvania*, vol. 10, no. 0, Costa Rica, pp. 5–10, 2011.
- [38] I. Omar, M. Coureaux, J. Ricardo, and C. Escalante, “Evaluation of the luminous depreciation and the energy efficiency of the road lighting systems,” vol. XXXIII, no. 1, pp. 27–34, 2012.
- [39] IES (Illuminating Engineering Society), “Ensayos según normas lm79, lm80, TM21 y TM30,” *IES*, 2021. <https://asselum.com/laboratorio/ensayos-segun-lm79lm80tm21-tm30/> (accessed Dec. 01, 2021).
- [40] M. Davidovic, N. Djordjevic, J. Mikulovic, M. Kostic, and Z. Radakovic, “Voltage distortion in LED street lighting installations,” *Electr. Eng.*, no. 0123456789, 2021, doi: 10.1007/s00202-020-01181-6.
- [41] G. B. Nair and S. J. Dhoble, “General lighting,” in *The Fundamentals and Applications of Light-Emitting Diodes*, 2021, pp. 155–176.
- [42] J. A. Suárez, G. F. Di Mauro, D. O. Anaut, and C. A. Agüero, “Cancelación Parcial de Corrientes Armónicas Provocadas por Cargas Residenciales No Lineales,” *SCIELO*, vol. 16, no. 3, pp. 63–70, 2005, doi: 10.4067/s0718-07642005000300009.
- [43] ARCONEL, *Regulacion No. ARCONEL-005-2018*. Quito, Ecuador: ARCONEL, 2019, p. 38.
- [44] LEDVANCE, “Catalogo on-line Ledvance,” www.ledvance.com/professional. www.ledvance.com/professional.
- [45] Sylvania, “Lámpara HPS,” www.sylvania-lighting.com. www.sylvania-lighting.com.
- [46] DIALux, “Catalogo Online Beghelli,” www.dialux-plugins.net/BEGHELLI. www.dialux-plugins.net/BEGHELLI.

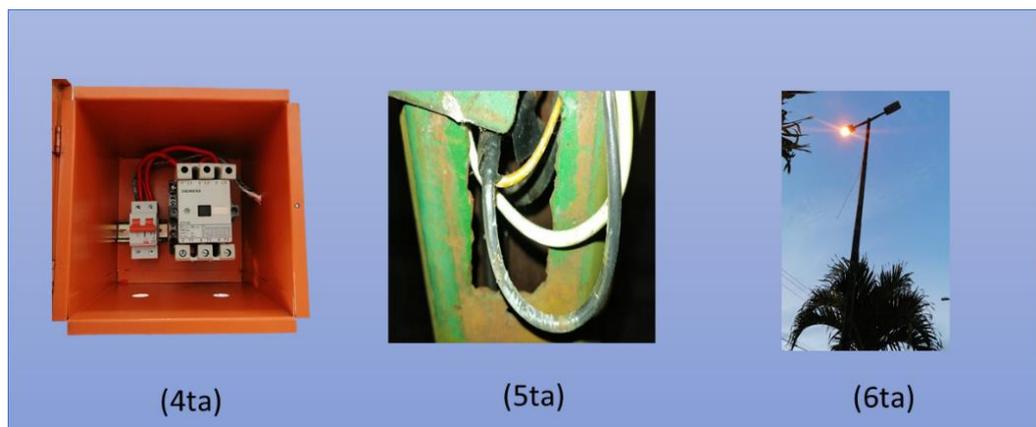
ANEXOS



Anexo 1- Topología de la Av. De los Cofanes Lumbaqui. Fuente: [autor]



Anexo 2- Etapas del actual sistema de alumbrado público 1. Fuente: [autor]



Anexo 3- Etapas del actual sistema de alumbrado público 2. Fuente: [autor]



Anexo 4- Lampara de vapor de sodio. Fuente: [45]

Beghelli

Search luminaire

Assortment: Beghelli-Elplast

Product family: Streetlights and Floodlight

Mounting type: Pole-Integrated

Lamp: HST 250W

Article number: 0147-HS1250FGC

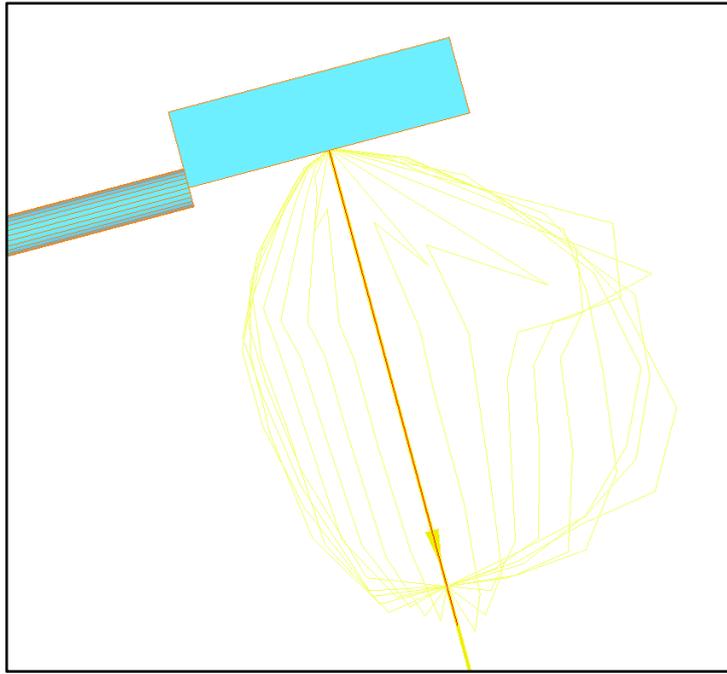
Found: 1 / 2750

0147-HS1250FGC Santo

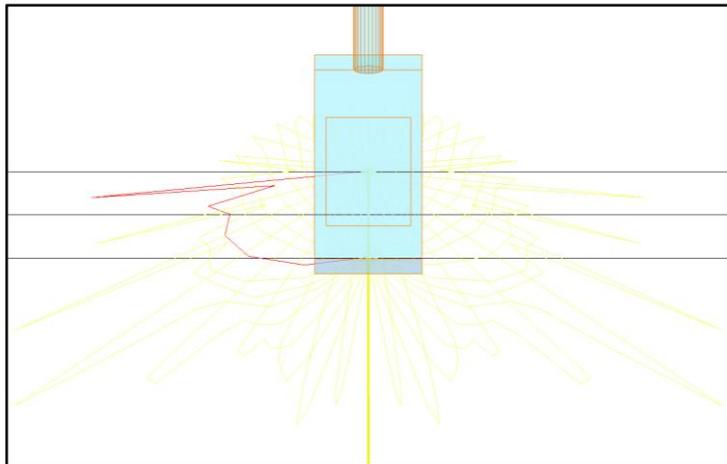
TECHNICAL FEATURES: streetlight for high pressure discharge lamp 250W.
BODY: cover box is made of UV stabilized polypropylene (PP) reinforced by glass fibres, gear box is made of UV stabilized polycarbonate (PC) reinforced by glass fibres.
REFLECTOR: polished aluminium sheet.
DIFFUSER: very transparent, hardened glass.
IP PROTECTION DEGREE: IP65

Legal notice

Anexo 5- Catalogo Online Beghelli. Fuente: [46]



Anexo 6- Vista lateral derecha -Plano C90/C270. Fuente: [autor]



Anexo 7- Vista Base-Plano C0/C180. Fuente: [autor]

PRODUCT DATASHEET

SL FLEX LA RV25ST P 110W 740 WAL

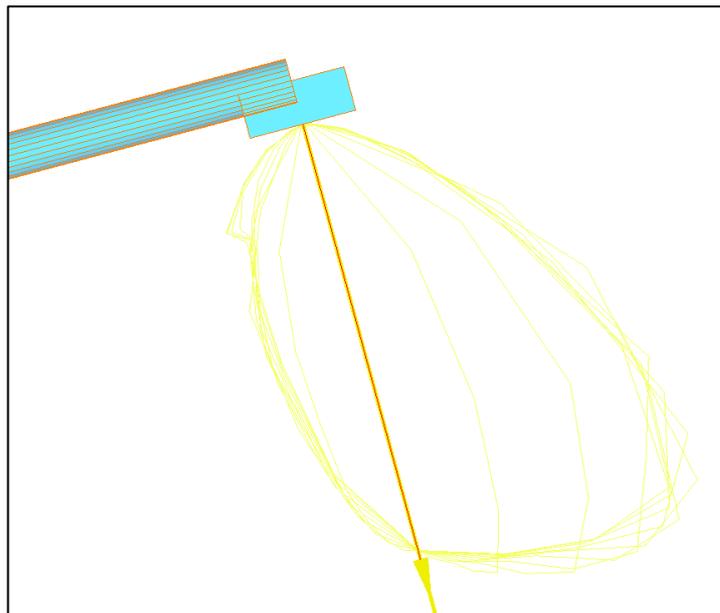
STREETLIGHT FLEX LARGE RV25ST | Light distribution for general road lighting



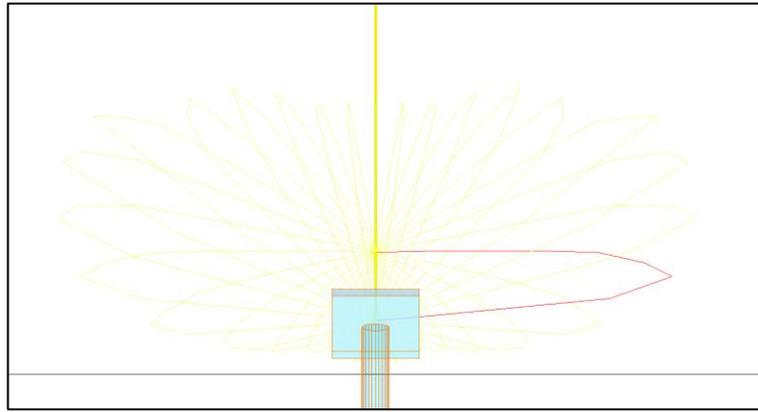
Areas of application

- Outdoor use (IP66)
- M-, C- and P-class roads acc. to EN 13201
- Parking
- Public areas
- Industry

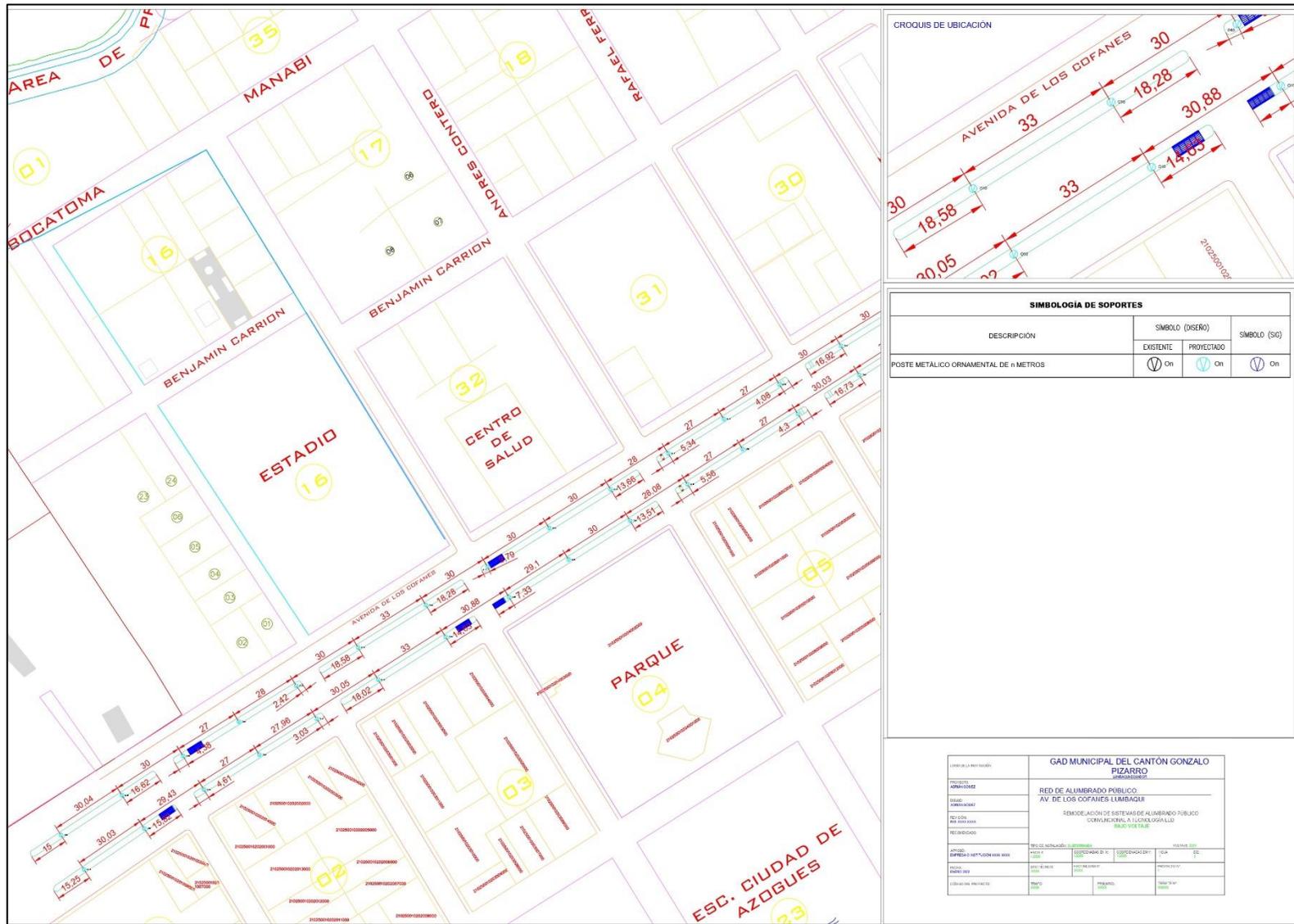
Anexo 8-Catalogo on-line Ledvance. Fuente: [44]



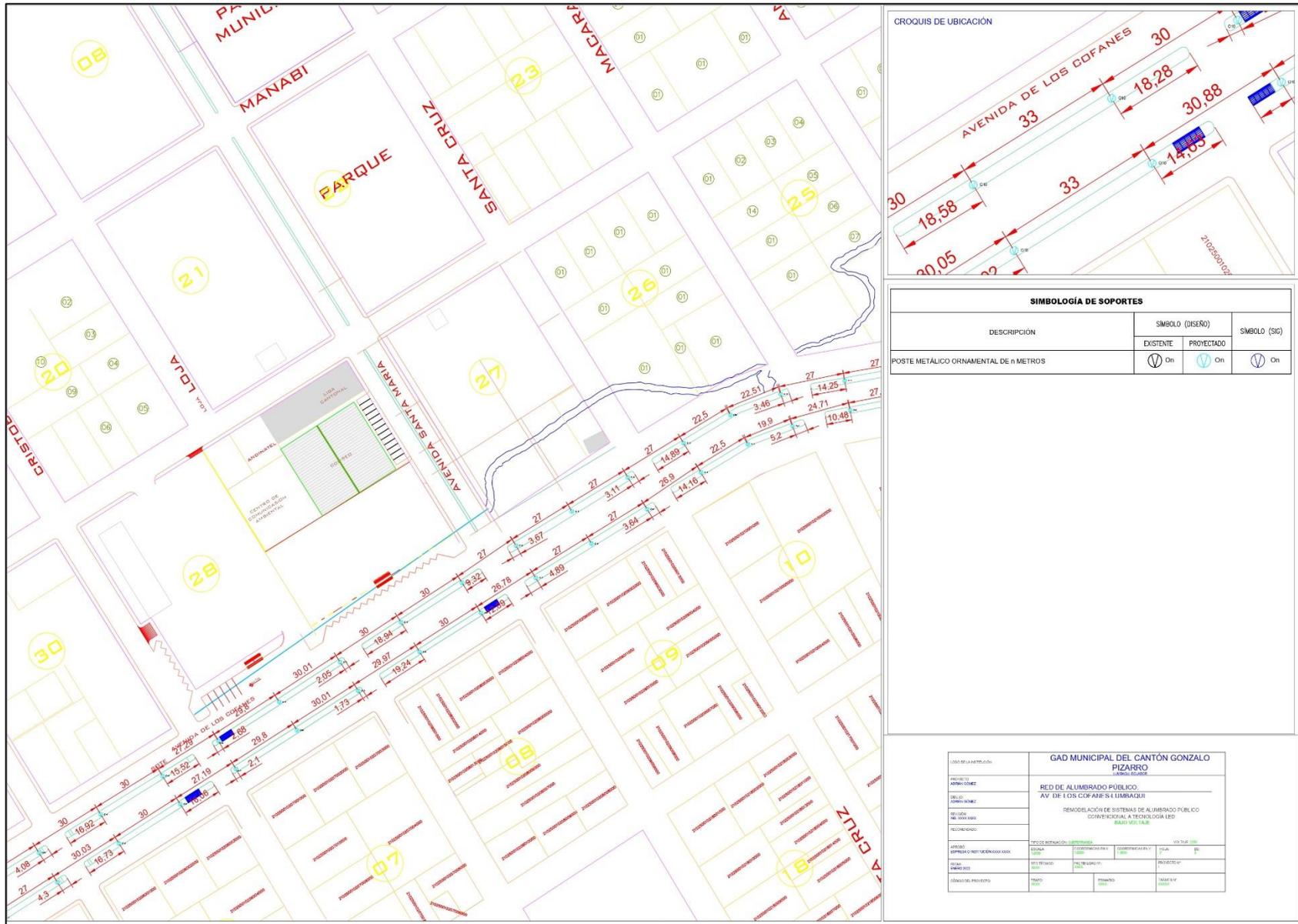
Anexo 9 - Vista lateral derecha-Plano C90/C270. Fuente: [autor]



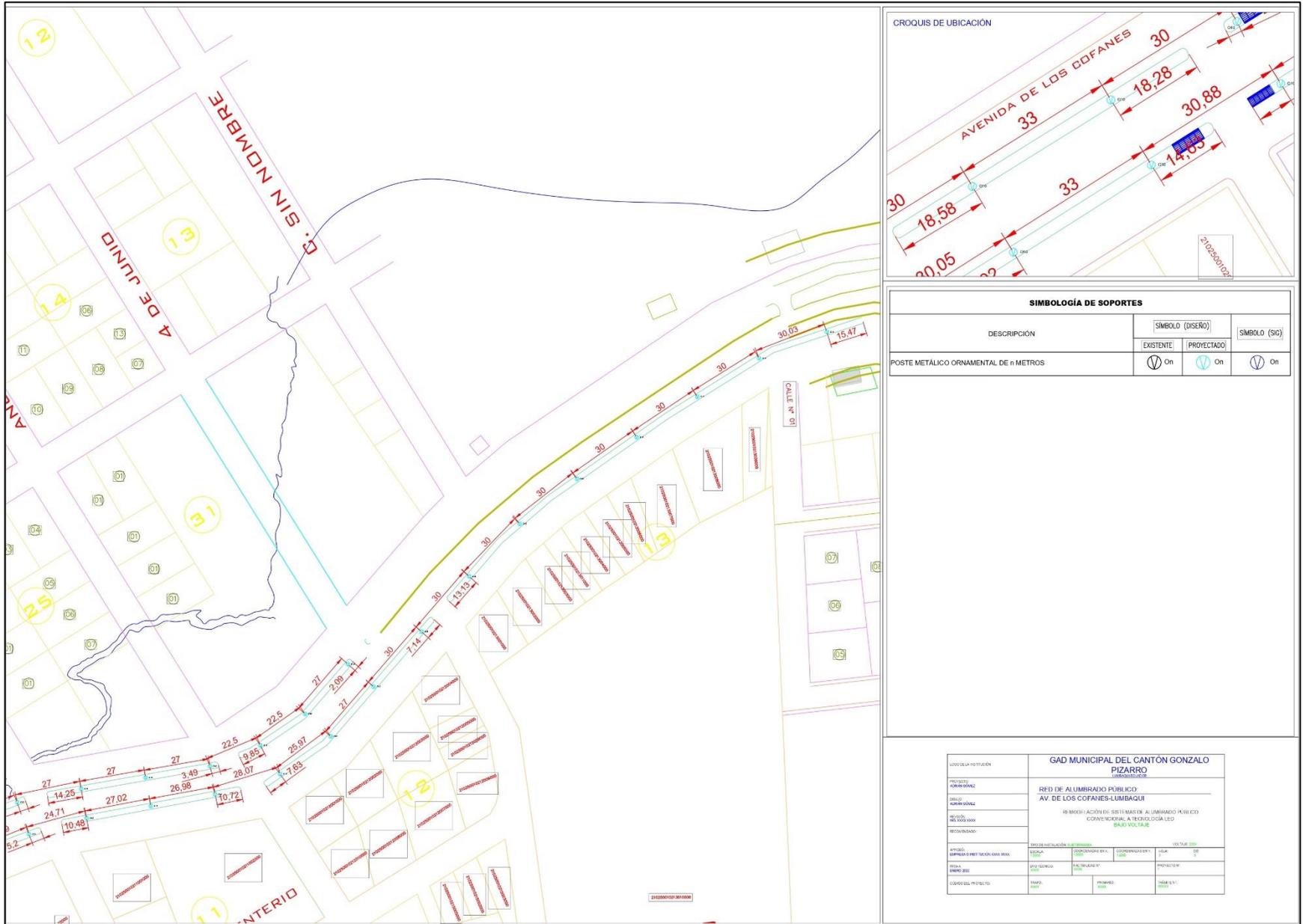
Anexo 10-Vista Base-Plano C0/C180. Fuente: [autor]



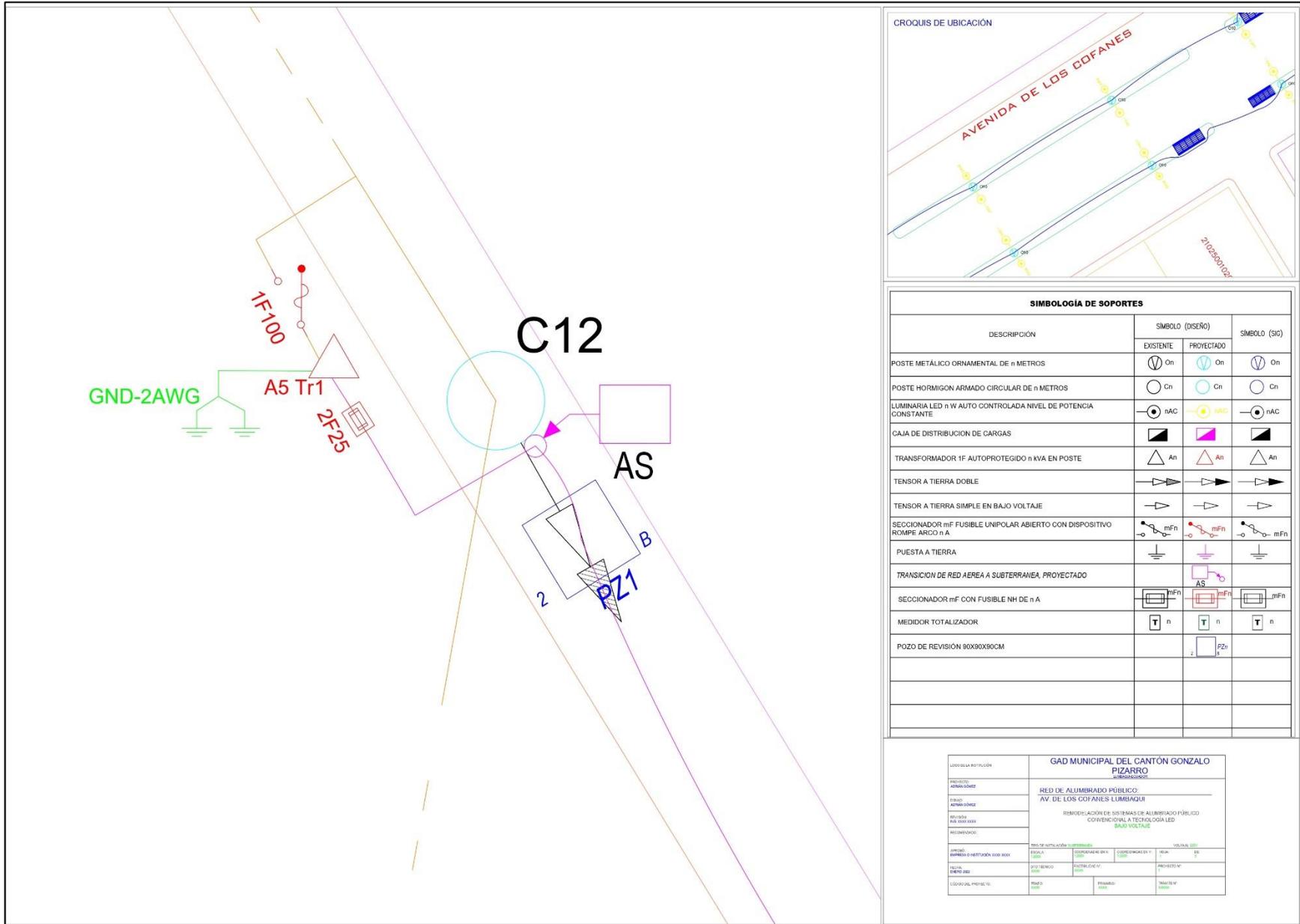
Anexo 11-Ubicación posterior 1/3 Diseño CAD A2. Fuente: [autor]



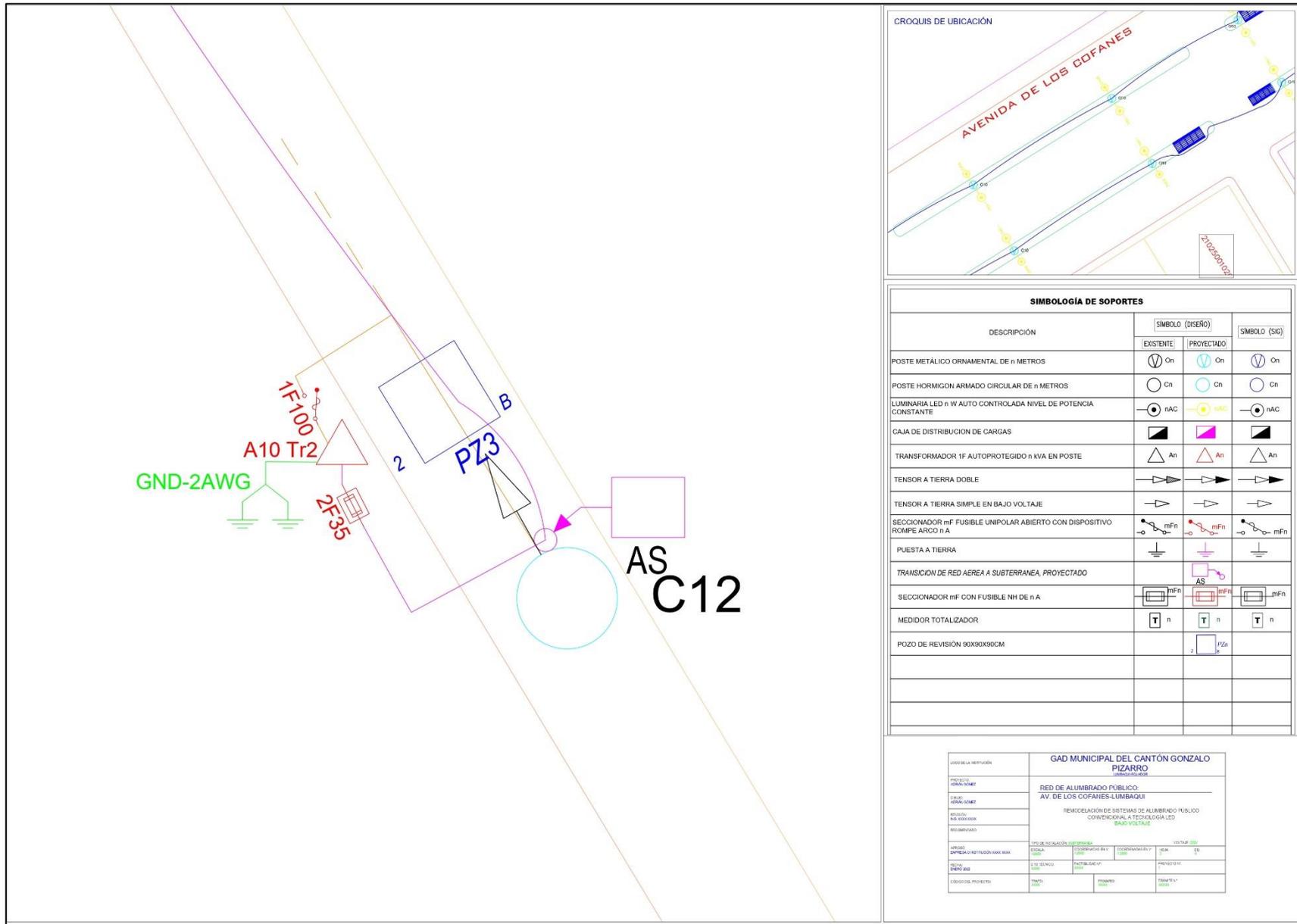
Anexo 12-Ubicación postería 2/3 Diseño CAD A2. Fuente: [autor]



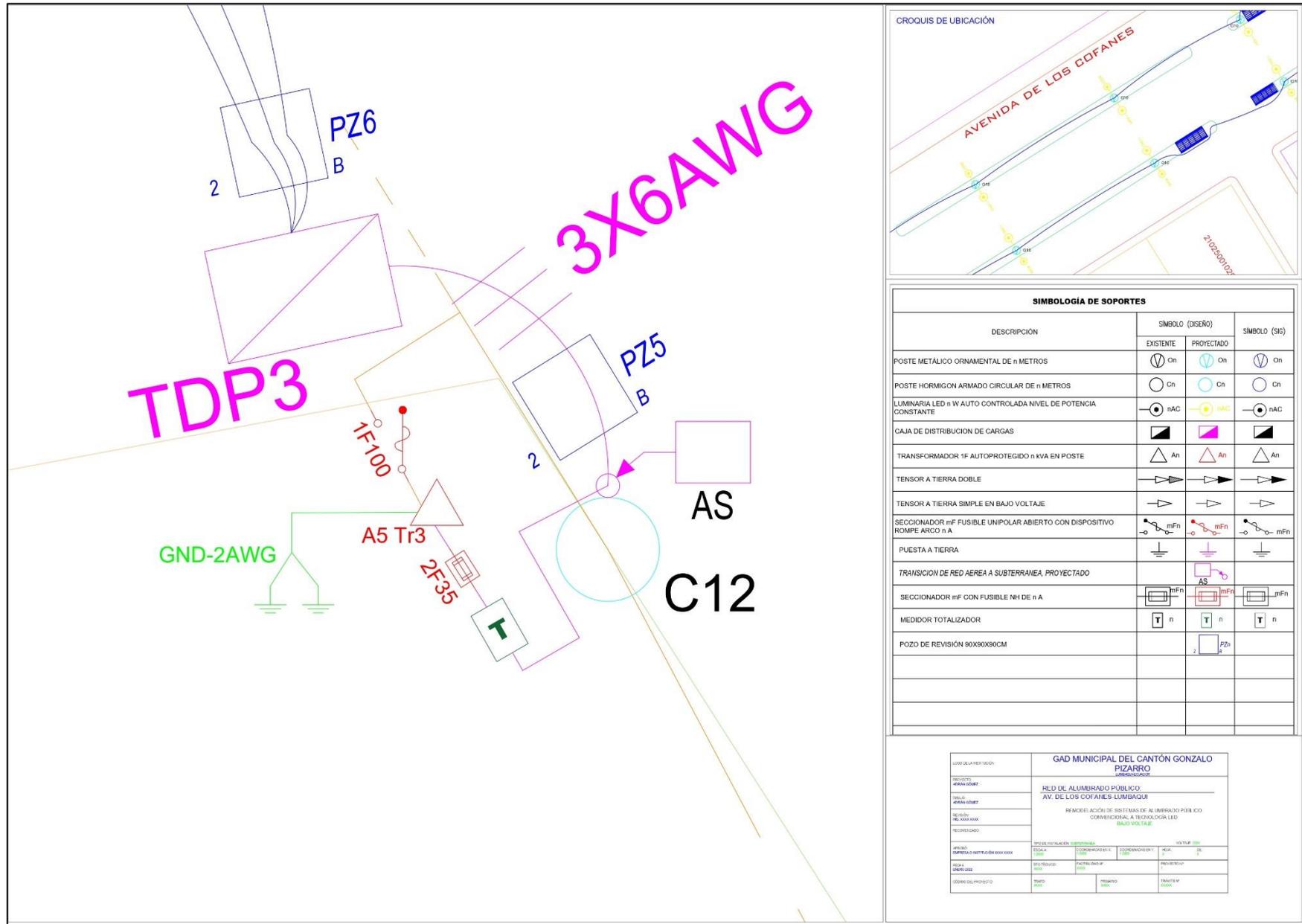
Anexo 13-Ubicación postería 3/3 Diseño CAD A2. Fuente: [autor]



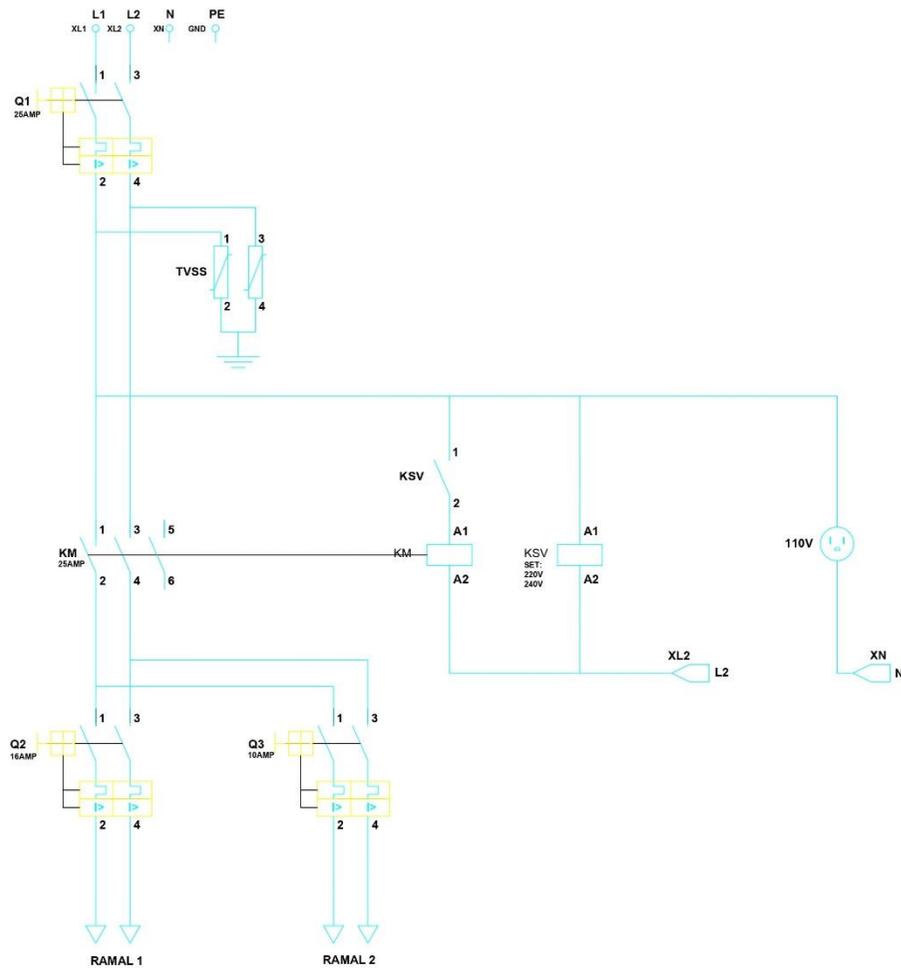
Anexo 14-Transformador 1 diseño en CAD A2. Fuente: [autor]



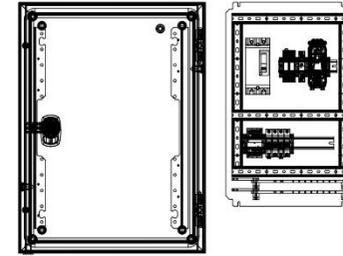
Anexo 15-Transformador 2 diseño en CAD A2. Fuente: [autor]



Anexo 16-Transformador 3 diseño en CAD A2. Fuente: [autor]



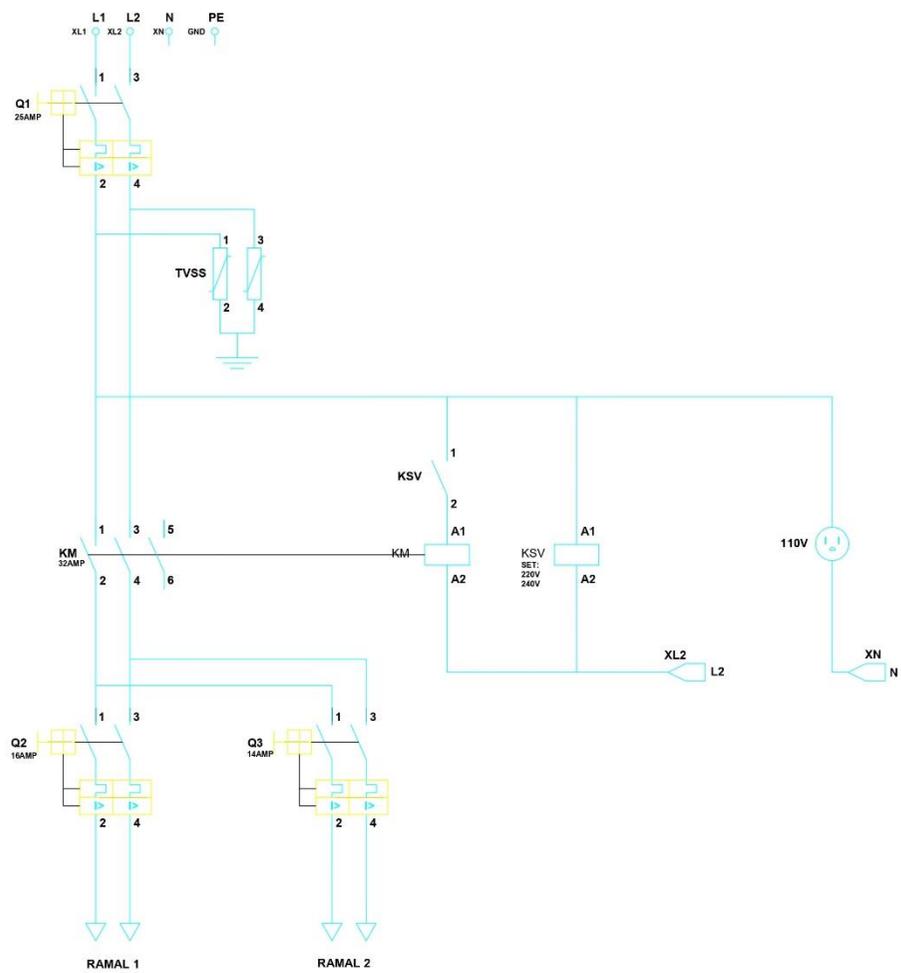
CROQUIS DE UBICACIÓN



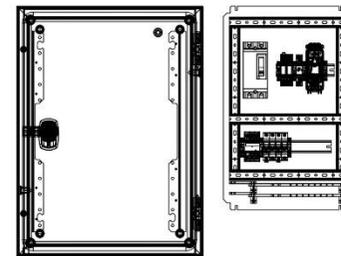
TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL CONTROL Y FUERZA TDP1

LOGO DE LA INSTITUCIÓN:	GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN GONZALO PIZARRO LUMBAQUÍ		
PROYECTO:	RELD DE ALUMBRADO PÚBLICO: AV. DE LOS COFAYES-LUMBAQUÍ		
DISEÑO:	REMODELACIÓN DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO CONVENCIONAL A TECNOLÓGICO LED (BAJO VOLTAJE)		
REVISIÓN:	REVISIÓN N° 001		
FECHA:	01/01/2022		
PROYECTANTE:	INSTITUCIÓN:	CONDICIONES DE USO:	NO SE PUEDE REPRODUCIR SIN EL CONSENTIMIENTO DEL AUTOR
FECHA:	01/01/2022	PROYECTANTE:	PROYECTANTE:
CÓDIGO DEL PROYECTO:	TRABAJO:	PROYECTO:	FECHA Y LUGAR:

Anexo 17-Esquemático TDP1. Fuente: [autor]



CROQUIS DE UBICACIÓN



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL CONTROL Y FUERZA TDP2

GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN GONZALO PIZARRO LIBANOS/PIZARRO	
PROYECTO:	RED DE ALUMBRADO PÚBLICO - AV. DE LOS COFANES-LUMBAQUI
DISEÑO:	RAMON GOMEZ
REVISIÓN:	RAMON GOMEZ
FECHA:	15/03/2022
PROYECTO:	REMODELACION DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO CONVENCIONAL A TECNOLÓGICA LED BAJO VOLTAJE
ANÁLISIS:	ESTADO DE OBRAS
COORDINADOR:	COORDINADOR DE OBRAS
FECHA:	15/03/2022
PROYECTO:	REMODELACION DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO CONVENCIONAL A TECNOLÓGICA LED BAJO VOLTAJE
FECHA:	15/03/2022
PROYECTO:	REMODELACION DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO CONVENCIONAL A TECNOLÓGICA LED BAJO VOLTAJE
FECHA:	15/03/2022

Anexo 18-Esquemático TDP2. Fuente: [autor]

The drawing consists of three main parts:

- Front View (Left):** Shows the exterior of the panel with a door on the left side, featuring a handle and a lock mechanism. The panel is rectangular with rounded corners and has several mounting holes along its perimeter.
- Back View (Middle):** Shows the interior of the panel, which is divided into two horizontal sections. The upper section contains a main switch and a fuse block. The lower section contains a busbar system with multiple terminals for wiring.
- Location Sketch (Top Right):** Titled 'CROQUIS DE UBICACIÓN', it shows two small diagrams: one of the panel's exterior and one of its interior layout, placed within a larger frame to indicate its intended installation location.

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL
DISEÑO GENERAL EN PANEL

LUGAR DE LA INSTALACIÓN		GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN GONZALO			
		PIZARRO			
PROYECTO		RED DE ALUMBRADO PÚBLICO			
ÁREA DE OBRA		AV. DE LOS COFANES-LUMBAQUI			
LOCALIZACIÓN		RENOVIACIÓN DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO			
TELÓN		CANTÓN GONZALO - P. D. C. (CANTÓN GONZALO - P. D. C.)			
RECORRIDO		BULEVARD			
ANTICEDENTES		ESTADO DE REVISIÓN		FECHA DE	
APPROBACIÓN INSTITUCIONAL		ESTADO	COMPROBADO EN	FECHA	DE
ESTADO		ESTADO	ESTADO	ESTADO	ESTADO
ESTADO		ESTADO	ESTADO	ESTADO	ESTADO
ESTADO		ESTADO	ESTADO	ESTADO	ESTADO
ESTADO		ESTADO	ESTADO	ESTADO	ESTADO

Anexo 20-Dibujo de detalle de TDP-Modelo general para todos los TDP's. Fuente: [autor]